

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Jan Suchánek

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Návrh a realizace modulu pro dálkovou manipulaci
ultrazvukové sondy**

Proposal and Realization of Remote Control Module for
Ultrasound Probe

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Suchánek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Návrh a realizace modulu pro dálkovou manipulaci ultrazvukové sondy**
Proposal and Realization of Remote Control Module for Ultrasound Probe
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Literární a patentová rešerše k dané problematice.
2. Návrh hardwarového řešení modulu s výběrem dílčích součástí.
3. Grafické zpracování technické dokumentace.
4. Realizace modulu s využitím gyroskopu, trackpadu a inkrementálního snímače otáček.
5. Návrh softwarového algoritmu pro řízení modulu.
6. Testování modulu a zhodnocení přínosnosti pro klinické využití.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SAYERS, Craig. *Remote Control Robotics*. New York, NY: Springer Verlag, 1999. ISBN 978-0387985978.
- [2] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications*. 4th ed. New York: Springer, c2010. ISBN 978-1-4419-6465-6.
- [3] SALOMON, David. *The computer graphics manual*. London: Springer-Verlag, c2011. Texts in computer science. ISBN 978-0-85729-885-0.
- [4] WESTWOOD, James D., et al. (eds.) *Medicine Meets Virtual Reality 18: NextMed*. Fairfax, VA: IOS Press, c2011. vol. 163 of Studies in health technology and informatics. ISBN 978-1-60750-705-5.
- [5] ARMENISE, Mario N., Caterina CIMINELLI, Francesco DELL'OLIO a Vittorio M. N. PASSARO. *Advances in gyroscope technologies*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 978-3642154935.
- [6] ACAR, Cenk a Andrei SHKEL. *MEMS Vibratory Gyroscopes: Structural Approaches to Improve Robustness MEMS Reference Shelf*. Springer Science & Business Media, 2008, 260 s. ISBN 978-1441934895.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iveta Bryjová**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.
vedoucí katedry

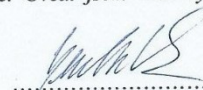


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ STUDENTA

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 28.4.2017



Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Ivetě Bryjové, za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled. Mé poděkování patří také Ing. Tomáši Urbanczykovi, za cenné rady, při praktické realizaci.

ABSTRAKT

Hlavním cílem této bakalářské práce, je navrhnout modul pro dálkové ovládání robotického ramene s ultrazvukovou sondou. Celý modul bude realizován na vývojové desce Arduino MEGA 2560. Ovládací modul se skládá ze dvou částí: části ovládací a části manipulační. Jak název napovídá, s manipulační částí bude operátor ovládat ultrazvukovou sondu. Ovládací část se skládá z vývojové desky Arduino MEGA 2560 a touchpadu. Manipulační část se skládá ze stylusu, ve kterém je gyroskop MPU 6050 a rotační dekodér KY-040. Gyroskop určuje pohyb stylusu a dotykem manipulační části s touchpadem je získána hodnota na ploše XY pro upřesnění přesného pohybu. Rotační dekodér je zde pro doplňující pohyb po ose Z. Tímto se zajistí co nejpřesnější data pohybu stylusu. Algoritmus získávání, zpracování a následného využití při pohybu simulace je psán v programu Arduino IDE, Processing. V budoucnosti by toto řešení mohlo vést k realizaci ultrazvukového vyšetření vzdáleným přístupem za asistence zdravotní sestry či radiologického asistenta na radiodiagnostických odděleních, podobně jako se nyní popisují vzdáleným přístupem prostřednictvím datového úložiště PACS snímky z vyšetření RTG, CT či MRI.

Klíčová slova: robotické rameno, dotyková obrazovka, kapacitní stylus, senzor tlaku, gyroskop a akcelerometr, inkrementální snímač otáček, platforma arduino.

ABSTRACT

The main aim of this bachelor thesis is to design a module for remote control of the robotic arm with an ultrasonic probe. The whole module will be implemented on the Arduino MEGA 2560 development board. The control module consists of two parts: the control part and the handling part. As the name suggest, the operator will operate the ultrasonic probe with the handling part. The control part consists of the Arduino MEGA 2560 development board and the touchpad. The handling part consists of a stylus with gyroscope MPU 6050 and a rotary decoder KY-040. The gyroscope determines the movement of the stylus and touching the handling part with the touchpad gives a value on the XY area to specify precise movement. The rotary decoder is here for complementary movement on the Z axis. This ensures the most accurate stylus movement data. The acquisition, processing and subsequent use algorithm when moving simulation is written in Arduino IDE, Processing. In the future, this solution could lead to a remote access ultrasound examination with the assistance of nurse or a radiological assistant at radiodiagnostic departments, as is now described by remote access through the PACS imagery of the X-ray, CT or MRI exam.

Keywords: robotic arm, touchpad, capacitive stylus, pressure sensor, gyroscope and accelerometer, incremental encoder, Arduino platform.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

IMU	Inertia Measurement Unit (měřicí jednotka setrvačnosti)
DOF	Degrees of Freedom (úhly volnosti)
MEMS	Micro electro Mechanical Systems (mikroelektromechanické systémy)
I2C	Inter-integrated Circuit (počítačová sériová sběrnice)
UARTs	Hardware Serial Ports (hardware sériové porty)
IDE	Integrated Development Environment (integrované vývojové prostředí)
SCL	Synchronous Clock (hodinový signál)
SDA	Synchronous data (datový kanál)
DMP	Digital Motion Processor (digitální senzor pohybu)

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek č. 1: Zařízení pro zpracování dat.....	12
Obrázek č. 2: Způsob zpracování dotykové obrazovky a tabletu.....	12
Obrázek č. 3: Řez stylusem	14
Obrázek č. 4: Návrh kapacitního tlakového senzoru.....	16
Obrázek č. 5: Schéma vlivu dotyku na rezistivně-senzitivní trackpad.....	17
Obrázek č. 6: Blokové schéma s ovladači pro jednotlivé skupiny senzorů.....	18
Obrázek č. 7: 3D gyroskop.....	19
Obrázek č. 8: Zadní pohled na inkrementální rotační kodér, skládající se ze dvou magnetických rotačních kodérů.	22
Obrázek č. 9: Pohled na základní část magnetického rotačního kodéru popisuje vztah mezi magnetickými senzory a více pólovou magnetickou vrstvou.....	24
Obrázek č. 10: Blokový diagram základních prvků elektrického obvodu magnetického inkrementálního rotačního kodéru.....	25
Obrázek č. 11: Graf závislosti signálů v čase.....	26
Obrázek č. 12: 3D modely robotických ramen v programu Solidworks.....	27
Obrázek č. 13: Piezoelektrický akcelerometr na principu piezoelektrického jevu.....	29
Obrázek č. 14: Piezoelektrický gyroskop na principu Coriolisových sil.	30
Obrázek č. 15: Blokové schéma návrhu modulu.....	31
Obrázek č. 16: Arduino MEGA 2560.....	32
Obrázek č. 17: Testování funkčnosti vývojové desky MEGA 2560 v programu Arduino IDE.	32
Obrázek č. 18: Gyroskop a akcelerometr MPU 6050.....	33
Obrázek č. 19: Gyroskop a akcelerometr MPU 6050 připojený k vývojové desce Arduino MEGA 2560.	34
Obrázek č. 20: Schéma zapojení Gyroskopu MPU6050.	34
Obrázek č. 21: Výpis surových dat z gyroskopu MPU6050.	35
Obrázek č. 22: Vývojový diagram programu gyroskopu pro výpis surových dat.....	35
Obrázek č. 23: Vývojový diagram programu gyroskopu pro přesnější data.	36
Obrázek č. 24: Výpis dat rotace z gyroskopu MPU6050.	37
Obrázek č. 25: Rotační enkodér s tlačítkem (modul KY-040).....	38
Obrázek č. 26: Zapojení rotačního enkodéru KY-040 do Arduino MEGA 2560.	39
Obrázek č. 27: Schéma zapojení rotačního enkodéru KY-040	39
Obrázek č. 28: Vývojový diagram programu rotačního enkodéru.	40
Obrázek 29: Výpis dat rotačního enkodéru v programu Arduino IDE.....	41
Obrázek č. 30: Touchpad Synaptics s chipsetem T1006.....	42
Obrázek č. 31: Zapojení touchpadu Synaptics do Arduino MEGA 2560.	43
Obrázek č. 32: Schéma zapojení touchpadu Synaptics do Arduino MEGA 2560.	43
Obrázek č. 33: Výpis dat touchpadu z programu Arduino IDE.	44

Obrázek č. 34: Vývojový diagram programu pro touchpad	44
Obrázek č. 35: Propojení všech zařízení do Arduino MEGA 2560	45
Obrázek č. 36: Vývojový diagram výpisu dat v programu Arduino IDE pro komunikaci s programem Processing.....	46
Obrázek č. 37: Výpis dat kódu pro komunikaci s programem Processing v programu Arduino IDE.	47
Obrázek č. 38: Vývojový diagram implementace a simulace dat v programu Processing.	49
Obrázek č. 39: Simulace dat v programu Processing	49

ÚVOD

V dnešní době je v medicíně takřka již zažitou praxí využívání robotických systémů pro tzv. miniinvazivní chirurgii. Robotické systémy se využívají skoro ve všech oborech medicíny, zejména těch chirurgických (všeobecná chirurgie, urologie, ortopedie, gynekologie, hrudní chirurgie, kardiochirurgie). V současné době je v České republice využíváno 8 robotických systémů da Vinci v 7 nemocnicích. Minimálně invazivní robotika se díky němu stala novým oborem medicíny, který spojuje vysoce odbornou práci chirurga s nejmodernější technologií – mikromechanikou, trojrozměrnou vizualizací a počítačovým řízením. Robotická chirurgie dala v České republice vzniknout odborné multidisciplinární společnosti, sdružující zejména vyškolené lékaře zabývající se robotickou chirurgií, instrumentářky a další zájemce o robotickou chirurgii, navigační technologie a telemedicínu – Česká společnost robotické chirurgie ČLS JEP. Přesto ještě stále nejsou robotické zařízení pro manipulaci využívány v oblasti ultrasonografie. Lékaři jsou tedy nuceni vždy vykonávat i rutinní ultrasonografické vyšetření osobně. Cílem této bakalářské práce je navrhnout modul pro usnadnění provádění zákroků na poli ultrasonografie a navrhnout způsob, jak tuto diagnostiku realizovat i vzdáleným přístupem.

V této bakalářské práci je navrhnout a realizován modul pro dálkové ovládání simulace robotického ramene s ultrazvukovou sondou. K navržení tohoto modulu bylo potřeba seznámit se s problematikou práce a vytvořit návrh úspěšné realizace. Modul je koncipován do dvou částí – manipulační a ovládací. Hlavní části modulu jsou: vývojová deska Arduino MEGA 2560, gyroskop MPU 6050, rotační enkodér KY-040 a touchpad Synaptics T1006. Před samotným návrhem byla provedena zevrubná rešerše. Rešeršní část je rozdělena na část patentovou a část literární. Bylo nezbytné vyhledat relevantní patenty popisující navržené součásti modulu a zjistit další technické parametry, které budou v praktické části práce použity. Vypracování patentové rešerše rozšířilo teoretický přehled vybraných součástí a umožnilo se zaměřit na parametry zařízení, potřebné k realizování modulu. Literární rešerše rozebírá možnosti tvorby simulace a možnost využití originálního modelu robotického ramene některých z největších dodavatelů robotických ramen. Teoretický rozbor dále rozšířil přehled o funkčnosti jednotlivých zařízení a formuloval další otázky týkající se zpracovávání dat z modulů. V praktické části jsou testovány jednotlivé součásti v programovém prostředí Arduina – Arduino IDE. Testování zařízení v programovém prostředí Arduino IDE je provedeno v jazyce C/C++ za využití knihovny Wiring pro komunikaci mezi jednotlivými zařízeními. Gyroskop je využíván pro data rotace kolem os XYZ, což zajišťuje tři nutné pohyby simulace. K získání dalších dat pro určení pohybu simulace je využit touchpad, který při doteku odesílá data o parametrech pohybu na osách XY. Poslední zařízením je rotační enkodér, který je v modulu implementován pro účely stanovení síly tlaku vůči podložce tzn. pohyb stylusu, nebo případně simulace ramene k podložce podle své osy. Společný výpis dat je realizován jako spojení jednotlivých programů v Arduino IDE. Následná implementace dat získaných z modulu je navržena v programu Microsoft Visual Studio a simulace těchto dat je vytvořena v interface programu Visual Studio.

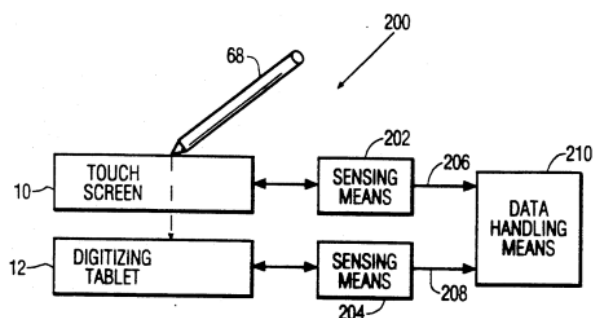
Realizované testy zařízení, výpis dat všech modulů, implementace dat a návrh simulace jsou hlavním cílem a přínosem této bakalářské práce.

TEORETICKÁ ČÁST

1. PATENTOVÁ REŠERŠE

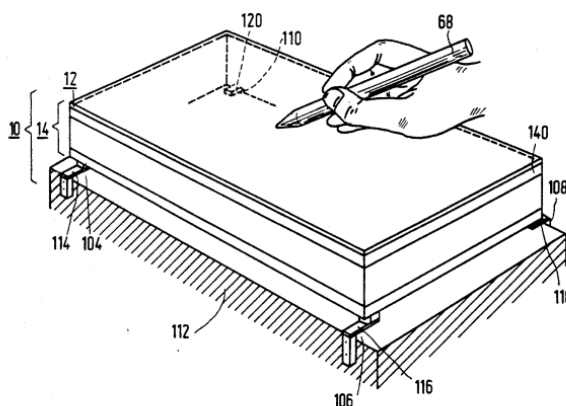
1.1. DATA PROCESSING SYSTEM WITH A TOUCH SCREEN AND A DIGITIZING TABLET, BOTH INTEGRATED IN AN INPUT DEVICE [1].

Tento patent pojednává o zpracování dat, včetně vstupního zařízení s dotykovou obrazovkou pro vkládání dat do systému prostřednictvím kontaktu a digitalizační tablet pro vkládání dat do systému prostřednictvím manipulace s perem (stylusem) v blízkosti tabletu, kde se plocha dotykové obrazovky a tabletu překrývají.



Obrázek č. 1: Zařízení pro zpracování dat

Na Obrázek č. 1 vidíme zařízení pro zpracování dat. Toto zařízení se skládá z dotykové obrazovky (10), která je schopná snímat dotyk prstu. Tablet (12) pro interakci se stylusem (68). Tyto části při ovládání stylusem spolu vzájemně komunikují. Pomocí snímacích prostředků (202, 204) jsou zpracovávány data a odesílány signály (206, 208) paralelně do zařízení pro zpracování signálu (210).

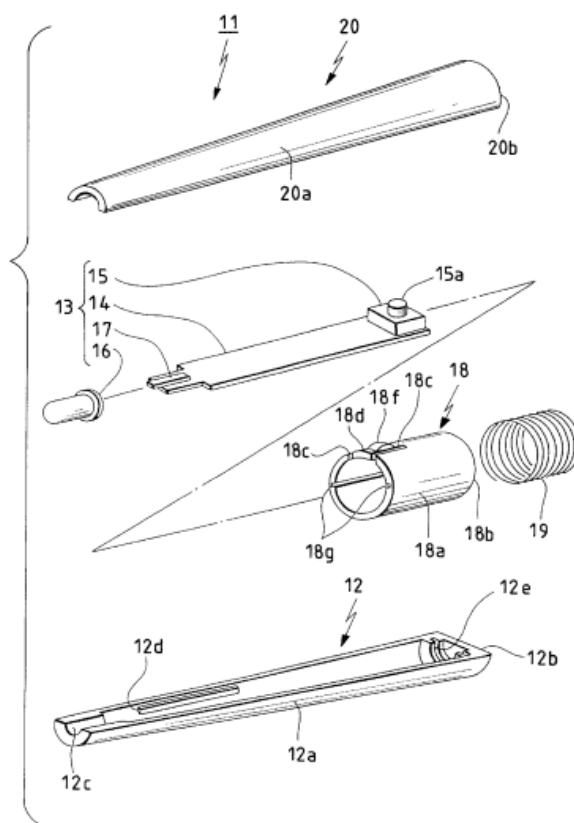


Obrázek č. 2: Způsob zpracování dotykové obrazovky a tabletu

Obrázek č. 2 znázorňuje schématický příklad využívající dotykovou obrazovku (10), která registruje síly a pohyby v suspenzi obrazovky pro určení místa dotyku a digitalizační tablet (12) integrovaný na povrchu dotykového displeje (10). Digitalizační tablet a dotykový displej jsou integrovány na jednom z polarizátorů (140) LCD (14). Ovládání tabletu je založeno na vlastnostech ultrazvukového vlnění, ložiska (104, 106, 108 a 110) jsou připojena na pevný rám (112). Každé z ložisek obsahuje tenzometr, například piezoelektrický tenzometr vytištěný na hliníkovém substrátu (114, 116, 118 a 120) jako měřidla. Každé měřidlo obsahuje několik odporů, které jsou zapojeny například do Wheatstoneova můstku, aby bylo možné odvodit z různých reakčních sil a pohybů v suspenzi, které vzniknou v okamžiku, kdy vnější síla působí na horní plochu vstupního zařízení. Filtrační prostředky mohou být použity pro filtrování reakčních sil a momentů, které jsou určeny k setrvačnosti vstupního zařízení (pokud je přesunuto), a proto nemají žádný vztah s jakoukoli plánovanou aktivací. Filtrační prostředky mohou být realizovány softwarově pro rozlišení signálu, které mají předem definované vlastnosti, jež představují plánované aktivace dotykem vstupního zařízení prstem nebo stylusem v určeném, ergonomickém způsobu.

**1.2. SHINOHE, Akihiro. STYLUS PEN. 1995. Japan.
US005864098A. Uděleno 26. 01. 1999. Zapsáno 08. 11. 1995
[2].**

Tento patent pojednává o zpracování Stylusu a ovládacího prvku, který je do stylusu implementován a umožňuje koordinaci vstupu nebo výběrového menu. Ovládací prvek je uchycen na plošce stylusu, protilehlém k dolní části přechodu na okrajové části plošky tak, aby směr provozní části spínače a směr pohybu plošky v podstatě následovali za sebou. Když se na kryt zatlačí, ploška klouže a provozní část spínače je tlačena přítlačnou částí zařízení pro ovládání spínače.



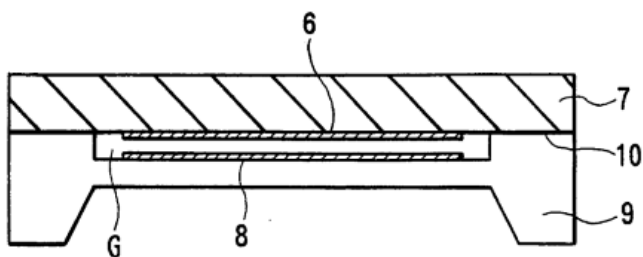
Obrázek č. 3: Řez stylusem

Na Obrázek č. 3 je zobrazena konstrukce stylusu (11), který se skládá z první části pouzdra (12), obvodové části (13), víčka/krytu (16), válcového držáku (18), pružiny (19) a druhé části pouzdra (20). Celé pouzdro (12,20) se skládá z izolačního materiálu, např. z ABS (akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer) pryskyřice. Část (12e) slouží pro ukotvení pružiny (19). Na protilehlé straně (12c) je držák pro hrot stylusu (16). Část (13) je obvod s vrstvou (14), na které probíhá proces spouštění tlačítka (15), které se sestává z provozní části (15a), koncové části (15b) a detektoru (17), který je tvořen kusem vodiče pro zjišťování polohy dotykového hrotu pera (11) na dotykové obrazovce. Část (15b) je připojena k jednomu konci vrstvy (14), která je vyrobena z fenolové pryskyřice. Přední část vrstvy (14) je připojena (napájena) na detektor (17) a je opatřena krytem (16) vytvořeného ze syntetického

pryskyřičného materiálu. Na horním povrchu vrstvy (14) je vytvořen elektronický obvod pro zpracování signálu detekovaného detektorem (17). Elektronický obvod je elektricky připojen ke koncové části (15b) detektoru (17), spínače (15a) s kabelem (není znázorněn), který je připojen k uvedenému elektronickému obvodu. Válcový držák (18) je vytvořen ze syntetického pryskyřičného materiálu, např. polyacetal (polyoxymethylene) ve válcovém tvaru obvodové části (18a) a části čelní plochy (18b). Otevřená strana okrajové části (18a) je vytvořena dvojicí výřezů (18c) procházejících obvodovou částí směrem k vnitřní části, čímž se vytvoří pružná část (18d), jak je znázorněno na obrázku č. 3. Vnitřní a vnější stěny pružné části (18d) jsou opatřeny výčnělky (18e, 18f). Ve vnitřní stěně obvodové části (18a) jsou vytvořeny dvojice štěrbin (18g), které jsou vzájemně proti sobě fázově pootočený o 180°. Držák (18) je uložen tak, aby mohl klouzat v prvním pouzdře (12), když dosedá část obvodové části (18a) na vnitřní plochu prvního pouzdra (12). Jeden konec pružiny (19), který je vytvořen z kovového materiálu, je umístěn ve výřezu (12e) a opačný konec pružiny (19) se dotýká čelní plochy (18b).

1.3. KIMURA, Shigeo, Yoshiyuki ISHIKURA, Takashi MASUDA, Takaaki KUROIWA a Takashi KIHARA. CAPACITIVE PRESSURE SENSOR. 1992. Japan. US005349492A. Uděleno 20. 09. 1994. Zapsáno 22. 12. 1992 [3].

Tento patent pojednává o kapacitním tlakovém senzoru. Tento senzor se skládá ze dvou vrstev, drážky a dvou elektrod. První vrstva se skládá z elektrického izolačního materiálu. Druhá vrstva se skládá ze stejného materiálu a má obvodovou část přímo vázanou na první vrstvu. Mezi první a druhou vrstvou je vytvořena drážka. Elektrody jsou vloženy do drážky. První elektroda je spojena s povrchem první vrstvy naproti druhé vrstvě, tak aby se mohla s první vrstvou pohybovat. Druhá elektroda je spojena s povrchem druhé vrstvy v drážce tak, aby byla paralelní k první elektrodě. První a druhou vrstvu lze zkonstruovat z křemenného skla nebo safíru. První a druhá vrstva je spojena při teplotě nižší, než teplota tání použitého materiálu bez jakékoli spojovací vrstvy.

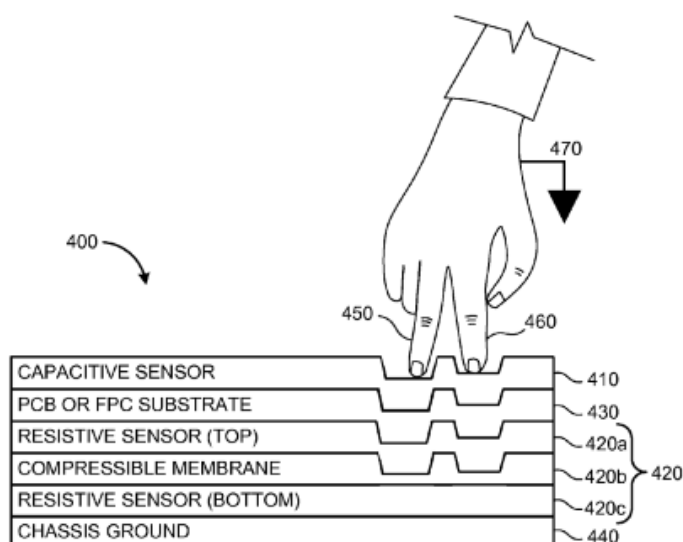


Obrázek č. 4: Návrh kapacitního tlakového senzoru.

Na Obrázek č. 4 vidíme drážku (G), senzory (8, 6), první vrstva (7), druhá vrstva (9) a spojení první a druhé vrstvy bez vytvoření spojovací vrstvy (10).

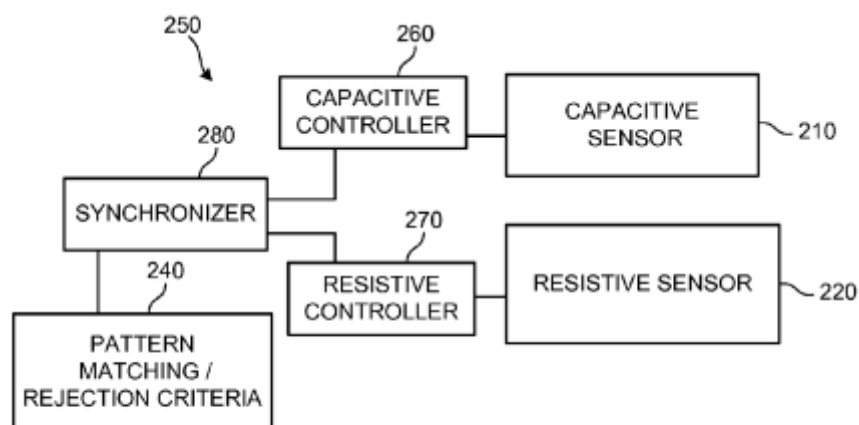
1.4. DOMINIC TENUTA, Matthew. *PRESSURE SENSITIVE TRACKPAD*. 2013. United States. US20150084868A1. Uděleno 26. 03. 2015. Zapsáno 08. 10. 2013 [4].

Tento patent popisuje rezistivně-senzitivní trackpad. Trackpad je zařízení, jehož hlavní konstrukční prvky tvoří: horní povrch; kapacitní senzor, operativně připojený k horní ploše; odporový snímač, umístěný pod kapacitním snímačem; a alespoň jeden řadič, který je operativně připojen ke kapacitnímu a rezistivnímu senzoru. Alespoň jeden ovladač a kapacitní snímače jsou konfigurovány pro detekci jednoho nebo více objektů na horní ploše. Alespoň jeden ovladač a odporové snímače jsou konfigurovány pro detekci jednoho nebo více objektů, na horním povrchu nezávisle na detekci pomocí jednoho regulátoru a kapacitního snímače. Alespoň jeden ovladač je nakonfigurován tak, aby k určení umístění jednoho nebo více objektů na horní vrstvě využíval detekované informace z jednoho ovladače a kapacitního snímače, a informace z detekcí alespoň jedním ovladačem a rezistivním snímačem.



Obrázek č. 5: Schéma vlivu dotyku na rezistivně-senzitivní trackpad.

Na Obrázek č. 5 můžeme vidět ruku tlačící silou (470) na trackpad (400). Vidíme zde, jak trackpad je ovlivňován dotekem dvou prstů (450, 460) a jak jednotlivé vrstvy propouští statický tlak až na spodní vrstvu rezistivního senzoru (420c).

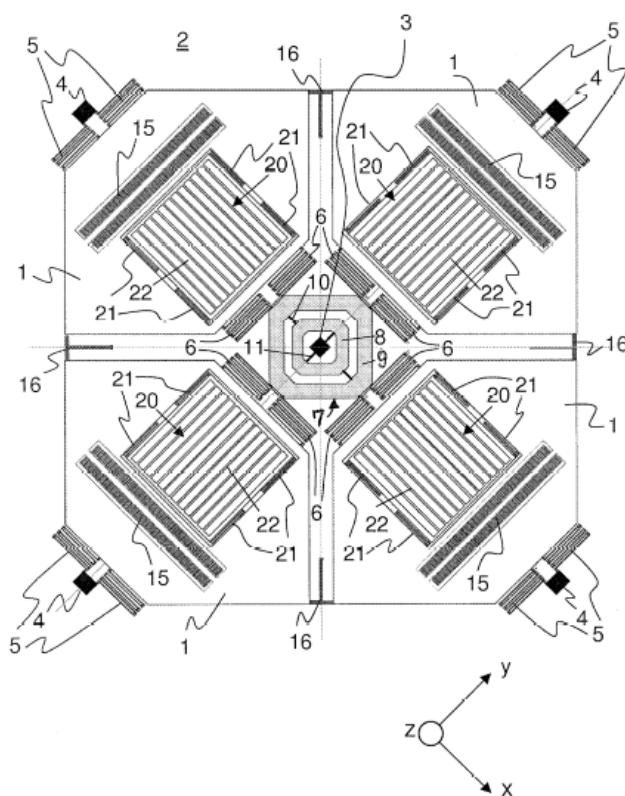


Obrázek č. 6: Blokové schéma s ovladači pro jednotlivé skupiny senzorů.

Na Obrázek č. 6 můžeme vidět kapacitní senzor (210), který je připojen k vlastnímu ovladači (260) a taktéž je i rezistivní senzor (220) připojený k vlastnímu ovladači (270). Tyto ovládací prvky jsou synchronizovány pomocí synchronizačního bloku (280), ve kterém jsou hodnoty signálů o různých frekvencích z jednoho cyklu spojeny dohromady a odeslány k vyhodnocení a interpretaci ovladačem (240). Tento ovladač kontroluje, zda jsou data ze senzorů synchronizována. Ovladač vyhodnotí, zda byla splněna či nesplněna podmínka a pošle data k dalšímu zpracování.

1.5. KEMPE, Volker. *MICRO-GYROSCOPE FOR DETECTING MOTIONS*. 2011. United States. US 9,157,740 B2. Uděleno 13. 10. 2015. Zapsáno 27. 10. 2011 [5].

Tento patent pojednává o mikro-gyroskopech pro detekci relativního pohybu na ose X a/nebo Y a Z, zejména jako 3D, 5D, nebo 6D senzor. Vzorek hmoty (vzorkem hmoty je myšleno závaží, které je upevněno v gyroskopu, těchto závaží je v gyroskopu více, jak je zmíněno dále) je uspořádán rovnoměrně kolem kotvy a může být poháněn v radiálním směru vzhledem ke středové kotvě. Kotevní pružiny jsou uspořádány k upevnění vzorku hmoty na substrát a tyto vzorky hmoty mohou být vychýleny z roviny X, Y. Hmotnostní snímač je umístěn na jednom vzorku hmoty pomocí: pružin; čidel; a senzorové pružiny, která umožňuje vychýlení hmoty snímače v rovině X, Y, Z. Prvky pohonu oscilují těmito vzorky v rovině os X, Y a senzorové prvky zachycují deformování vzorku díky generovaným Coriolisovým silám, pokud substrát rotuje.



Obrázek č. 7: 3D gyroskop.

Dle Obrázek č. 7 jsou vzorky hmoty (1) umístěny v rovině nad substrátem (2). Jsou připojeny k podkladu (2) pomocí centrální kotvy (3) a jednou vnější kotvou (4) na vzorek hmoty (1). Spojení s vnější kotvou (4), je provedeno dvěma vnějšími kotevními pružinami (5). Dvě vnitřní kotevní pružiny (6) a kardanový držák (7) jsou umístěny mezi vzorek hmoty (1) a centrální kotvu (3). Vnější kotevní pružiny (5) a vnitřní kotevní pružiny (6) jsou navrženy tak, aby umožňovaly kývavý pohyb mezi vnějšími kotvami (3) v rámci roviny X, Y. Kromě toho jsou kotevní pružiny (5) a (6) konstruovány tak, aby umožnily vychýlení kolmo k nákrešně, aby byla umožněna rotační rychlost v osách X, Y v důsledku

Coriolisových sil. Aby se dosáhlo určité úrovně stability vzorku hmoty (1) při naklonění kolem osy pohybu, jsou vnitřní kotevní pružiny (6) uspořádány v poměrně velké vzdálenosti od sebe na vzorek hmoty (1). Vnější kotevní pružiny (5) jsou připojeny k vzorku hmoty (1), relativně blízko u sebe v oblasti vnější kotvy (4). Tímto je dosaženo stabilního a snadno vyrobitelného uchycení vzorku hmoty (1) a pružin (3, 4).

K zabránění vychýlení vzorku hmoty na osách X, Y, a aby bylo možné prohnouti jednoduše a bez velkých sil, je mezi vnitřními kotevními pružinami (6) a centrálními kotvami (3), vložen kardanový držák (7), umožňující sklápěcí pohyb vzorku hmoty, který je vyvolán Coriolisovými silami. Kardanový držák (7) obsahuje vnitřní kroužek (8) a vnější kroužek (9). Vnitřní kroužek (8) a vnější kroužek (9) jsou vzájemně spojeny prostřednictvím dvou zkrutných pružin (10). Torzní pružiny (10) jsou uspořádány, ve směru pohonu dvou protilehlých vzorků hmoty (1). Dvě další torzní pružiny (11) jsou přesazeny o 90° a spojují vnitřní kroužky (8) na centrální kotvu (3). Uvedené pružiny jsou v tomto pořadí umístěny ve směru hnacího pohybu ostatních dvou vzorků hmot (1). Kývání nebo naklánění dvou protilehlých vzorků hmoty (1) z roviny X a Y podstatně neovlivňuje zbylé dva vzorky hmoty (1) umístěné mezi nimi a řízené 90° offsetem vůči nakloněným vzorkům.

Stabilní podpora vzorku hmot (1) je způsobena použitím dvou vnějších kotevních pružin (5) a dvou vnitřních kotevních pružin (6). Otáčením vzorku hmot (1) ve směru jejich otáčení nebo ose pohonu není umožněno. Ukázkové vzorky hmot (1) tak mohou být poháněny velmi stabilně v rovině X a Y, a otáčet kolem kolmé osy k ose pohonu, pokud vzniká Coriolisova síla. K otočnému pohybu kolem hnací osy vzhledem k uvedené suspenzi vzorku hmoty nedochází (1).

Oscilační pohon vzorků hmoty (1) se provádí pomocí pohonu (15). Hnací prvky (15) jsou uspořádány pro každou hmotu (1). V tomto provedení je dosaženo kmitavého lineárního pohybu vzorku hmot (1) podle použitého střídavého napětí. Aby se dosáhlo rovnoměrného pohonu vzorku hmot (1), je použito množství vidlicových elektrod, nejlépe několik set vidlicových elektrod, pro každý vzorek hmoty (1).

Také pro dosažení jednotného pohonu ukázkových hmot (1), jsou synchronizační pružiny (16) umístěny mezi dvěma sousedními vzorky hmot (1). Synchronizační pružiny (16) vyvolávají přibližně tolik síly na hmoty vzorků (1), v případě, že uvedené vzorky hmoty (1) nekmítají synchronně mezi centrálními kotvami (3) a vnějšími kotvami (4). Synchronní pohyb umožňuje použití pouze jednoho elektronického systému pohonu. Synchronní pohon také zajišťuje, že žádné vzájemně protisměrné síly nevznikají na mikro-gyroskopu, díky kterým by se mohly vyskytnout chyby v analýze.

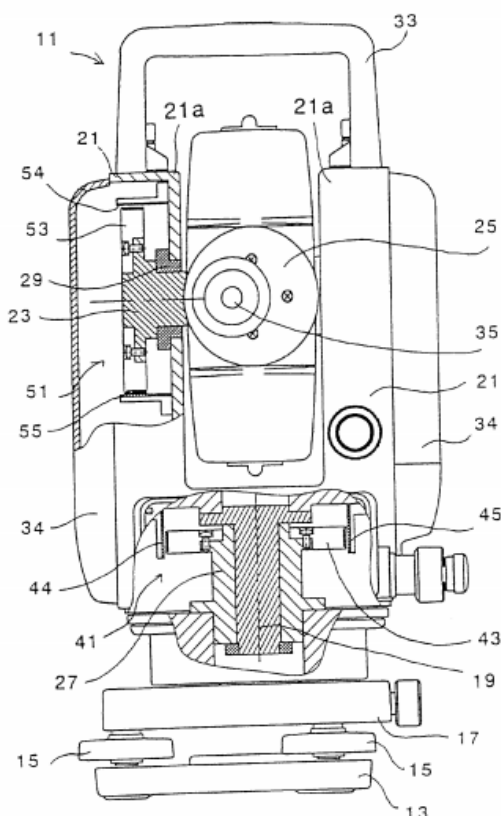
Každý ze vzorků hmot (1) je realizován ve formě rámu. Senzor hmoty (20) je umístěn uvnitř rámu a je připojen k hmotě vzorku (1) pomocí čtyř pružin (21). Pružiny (21) jsou připojeny k hmotě vzorku (1) v rozích snímací hmoty (20). Pružiny (21) umožní kývavý pohyb snímače hmoty (20) pro vzorek hmoty (1). Pružiny (21) do značné míry zabraňují vychýlení z roviny vzorku hmoty (1) nebo roviny X, Y. Snímač hmotnosti (20) se pohybuje společně se vzorkem hmoty, (1) v případě, že není použita žádná rotace osy Z. To znamená, že snímač hmotnosti se podílí na hnacím pohybu vzorku hmoty (1) v rovině X a Y, a také senzor (20) se pohybuje po vnější rovině osy X, Y spolu se vzorkem hmoty (1), stejným způsobem jako na vzorku hmoty (1), dojde-li k rotačnímu pohybu X nebo Y osy. Pro případ, že rotační pohyb osy Z se aplikuje na mikro-gyroskopu, snímač hmotnosti (20) se pohybuje vzhledem k vzorku hmoty (1) ve směru kolmém ke směru pohybu na vzorek hmoty (1). Tento směr je jediným směrem pohybu, které pružiny (21) umožní, aby bylo možné detekovat pohyb snímače hmotnosti (20)

v důsledku rotačních rychlostí kolem osy Z a souvisejících Coriolisových sil. Snímač hmotnosti (20) je realizován také jako rám. Snímací prvky jsou umístěny v rámu, z nichž některé jsou pevně uspořádány na substrátu (2) a některé z nich jsou umístěny na senzoru hmotnosti (20) vzdálenost mezi pevnými elektrodami a elektrodami snímače hmotnosti (20) se mění pohybem snímače hmotnosti (20) vzhledem k vzorku hmoty (1), a vzhledem k podkladu (2) a tato vzdálenost může být určena změnou kapacity.

Každý snímač vzorku hmoty (20) zahrnuje množinu snímacích prvků (22). Snímače prvků (22) jsou uspořádány v tzv. detekčních krabicích (23). Každý snímač vzorku hmoty (20) obsahuje dvanáct takových detekčních krabic (23) viz obrázek č. 7. V případě, kdy jsou senzory vzorku hmoty (20) vychýleny proti směru lineárního zrychlení mikro-gyroskopu v rovině X, Y, pak je uvedené vychýlení registrováno pomocí senzorových prvků (22). Na rozdíl od senzorů hmoty (20) jsou vychýleny v podstatě synchronně ve stejném obvodovém směru pro stanovení rotační rychlosti v ose Z. Mikro-gyroskop tak může být použit jako 5D senzor, nebo spolu s měřením synchronních odchylek v ose Z ve vzorku hmoty jako 6D senzor.

1.6. KENJO, Katsuhiko a Masami SHIRAI. *INCREMENTAL ROTARY ENCODER*. 2002. United States. US 6,555,809 B2. Uděleno 29. 04. 2003. Zapsáno 26. 03. 2002 [6].

Tento patent pojednává o inkrementálním rotačním snímači, který se konstrukčně skládá ze dvou senzorů. Každý z nich má na výstupu dva sinusové signály a fázovým rozdílem 90°, zatímco rotační člen inkrementálního rotačního snímače rotuje. Inkrementální rotační enkodér obsahuje funkční modul tzv. „index absolutní nuly“ detekujících zařízení. Předpokládá se, že alespoň jeden binární kódovací obvod kóduje sinusové signály a index nulového signálu na odpovídající binární signál. Zařízení pro uložení dat binárního signálu z každého sinusového výstupu vlny z druhého čidla, pokud index absolutní nuly detekuje na výstupu zařízení nulový indexový signál. Řadič pro vyhodnocení, zda fáze ze dvou sinusových průběhů signálů vystupujících z druhého senzoru předbíhá nebo se zpožďuje s ohledem na fázi dvou sinusových signálů výstupu prvního senzoru.



Obrázek č. 8: Zadní pohled na inkrementální rotační kodér, skládající se ze dvou magnetických rotačních kodérů.

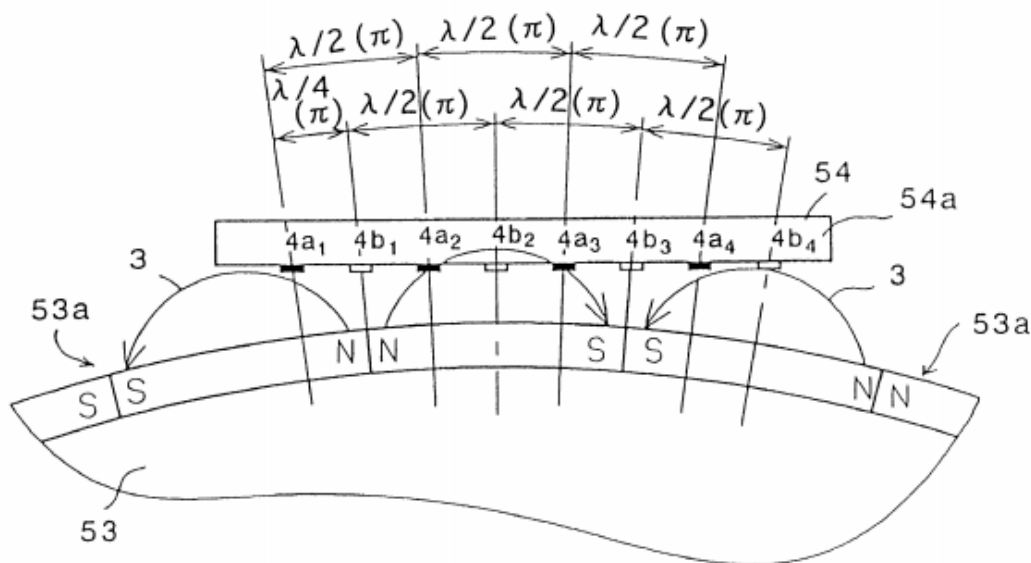
Na Obrázek č. 8 vidíme kompletní provedení stanice (včetně optického přístroje), která obsahuje dva magnetické inkrementální rotační snímače. Stanice (11) je opatřena základní deskou (13), vyrovnávací deskou (17), podstavcem (21) a kolimačním teleskopem (25). Základní deska (13) je spojena se stativem, pokud je stanice na něm umístěna. Základní deska (13) je opatřena třemi nožními

šrouby (15), na kterých je namontována vyrovnávací deska (17). Podstavec (21) je umístěn na vyrovnávací desce (17) prostřednictvím vertikální hřídele (19). Podstavec (21) je vytvořen tak, že má průřez ve tvaru U a má dvojici podpěr (21a) umístěných na pravé a levé straně. Kolimační teleskop (25) je fixován dvojicí podpěr (21a) tak, aby byl otočný kolem osy páru koaxiální horizontální hřídele (23), které jsou upevněny na pravé a levé straně kolimačního dalekohledu (25). Koaxiální horizontální hřídel (23) je podepřena párem podpěr (21a) a je otočná kolem své osy.

Vertikální hřídel (19) je namontována uvnitř a podepřena vertikálním otočným ložiskem (27), které je připevněno k vyrovnávací desce (17). Základna podstavce (21) spojuje dvojici ramen (21a) a je upevněna na horním konci svislé hřídele (19). Vodorovná hřídel (23) je uložena k odpovídajícímu horizontálně otočnému ložisku (29) připevněného k odpovídajícím podporám (21a). Kolimační teleskop (25) je připevněn k horizontální hřídeli (23).

Kompletní stanice (11) je na svislé hřídeli (19) s prvním magnetickým kumulativním rotačním snímačem (první rotační kodér/horizontální úhel měřicího přístroje (41)) a je upraven pro měření úhlu natočení (horizontální úhel) ze svislé hřídele (19) s hledem na vyrovnávací desku (17). Kompletní stanice (11) je dále uspořádána na horizontální hřídeli (23) s druhým magnetickým inkrementálním rotačním snímačem (druhý rotační kodér/vertikální úhel měřicího zařízení (51)), které je přizpůsobeno pro měření úhlu otáčení (vertikální úhel) z horizontální hřídele (23) vzhledem k podstavci (21). První rotační snímač (41) je opatřen magnetickým bubnem (43) a je upevněn ke svislé hřídeli (19). Magnetický buben (43) je na vnějším obvodovém povrchu opatřen více pólovou magnetickou vrstvou. První rotační kodér (41) je dále opatřen dvěma magnetickými senzory (44, 45), které jsou umístěny tak, aby směřovaly k více pólové magnetické vrstvě s malou mezerou mezi každým magnetickým senzorem a více pólovou vrstvou na opačných stranách magnetického bubnu (43) vzhledem ke svislé hřídeli (19). Oba magnetické senzory (44, 45) jsou posunuty od sebe přibližně o úhel 180° kolem svislé hřídele (19). Stejně tak je i druhý rotační snímač (51) opatřen magnetickým bubnem (53) upevněným na vodorovné hřídeli (23). Magnetický buben (53) má po vnějším obvodu více pólovou magnetizovanou vrstvou (na obrázku č. 9 (53a)), která je identická s více pólovou magnetickou vrstvou magnetického bubnu (43). Druhý snímač otáček (51) je opatřen dvěma magnetickými čidly (54, 55), které jsou umístěny tak, aby směřovaly k více pólové vrstvě (53a) s malou mezerou mezi každým magnetickým senzorem a více pólovou magnetickou vrstvou (53a) na opačných stranách magnetického bubnu (53) vzhledem k horizontální hřídeli (23). Tyto dva magnetické senzory (54, 55) jsou od sebe posunuty přibližně o 180° kolem horizontální hřídele (23).

Detaily nejsou zobrazeny na výkresech, ale kompletní stanice (11) je v dolní části podstavce (21) s elektronickým obvodem (viz obrázek č. 10), který obsahuje operační systém pro určení úhlu natočení každého prvního a druhého rotačního snímače (horizontálních a vertikálních úhlů (41, 51)), na základě detekce výstupního napětí každého z magnetických senzorů (44, 45, 54, 55). Kompletní stanice (11) je na přední a zadní straně podstavce (21) s provozními panely.



Obrázek č. 9: Pohled na základní část magnetického rotačního kodéru popisuje vztah mezi magnetickými senzory a více pólovou magnetickou vrstvou.

Jak je znázorněno na Obrázek č. 9, čtyři elementární magnetorezistory ($4a_1$, $4a_2$, $4a_3$, $4a_4$) A-fáze jsou spojeny ve formě obvodového můstku, zatímco čtyři magnetorezistory ($4b_1$, $4b_2$, $4b_3$, $4b_4$) B-fáze jsou také spojeny ve formě můstkového obvodu. Elektronický obvod (znázorněn na obrázku č. 10) je připojen na konstantní napětí (+V a -V), mezi svorkami každého ze dvou mostních obvodů. Elektronický obvod detekuje měnu magnetického pole, to znamená, změna úhlu otáčení magnetického bubnu (53) v souladu s napětím na svorkách e_0 a e_1 v A-fázi a napětí na svorkách e_0 a e_1 v B-fázi.

Podle tohoto příkladu provedení, je příslušná hodnota odporu ($4a_1$, $4a_2$, $4a_3$, $4a_4$) příslušných magnetorezistorových prvků ($4a_1$, $4a_2$, $4a_3$, $4a_4$) v A-fázi se liší závislostí na změny magnetického pole (3) vytvářeného otáčením magnetického bubnu (53), v souladu s následujícími rovnicemi:

$$a_1 = R_0 + R \sin(N\omega)$$

$$a_2 = R_0 + R \sin(N\omega + \pi) = R_0 - R \sin(N\omega)$$

$$a_3 = R_0 + R \sin(N\omega + 2\pi) = R_0 + R \sin(N\omega)$$

$$a_4 = R_0 + R \sin(N\omega + 3\pi) = R_0 - R \sin(N\omega)$$

Kde ω reprezentuje úhel natočení magnetického bubnu (53), R_0 představuje hodnotu odporu v případě žádného magnetického pole, R představuje poměr odporu (koeficient) a N představuje počet magnetických divizí více pólové magnetické vrstvy (53a).

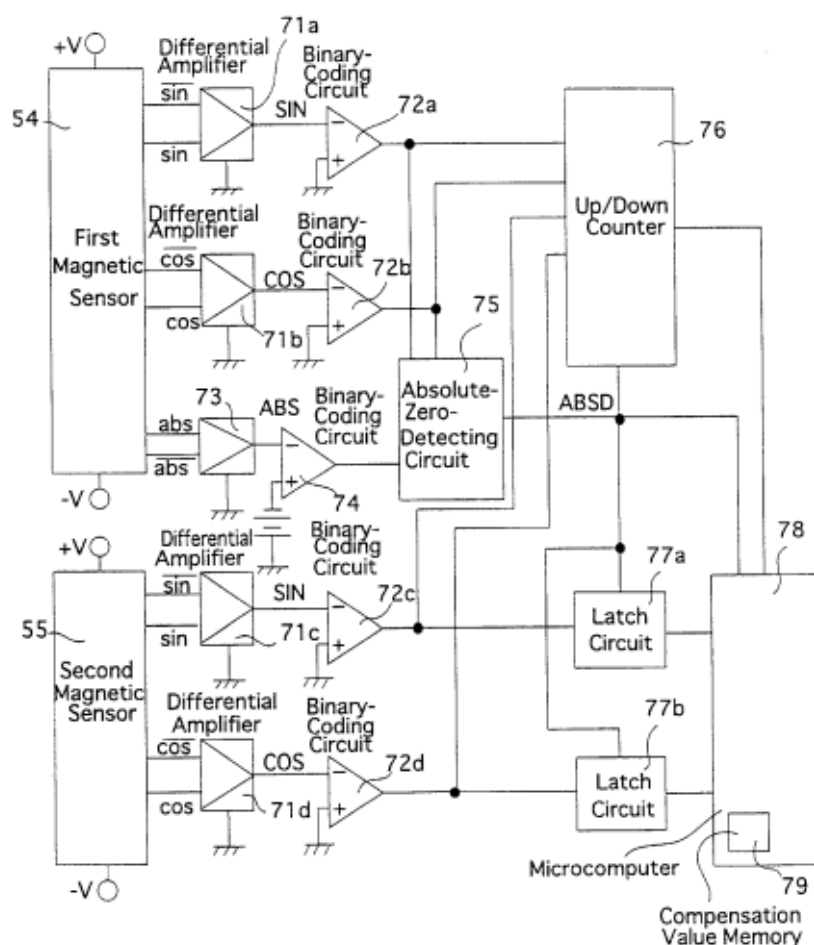
Svorky e_0 a e_1 v A-fázi, respektive výstupu dvou sinusových signálů (SIN vlna a $\overline{\text{SIN}}$ vlna), které mají fázový rozdíl 180° . Rozdíl mezi těmito dvěma sinusovými signály je zesílen, čímž se získá sinusový signál (tj., „SIN signál“).

Tyto magnetorezistorové prvky (4b₁, 4b₂, 4b₃, 4b₄) z B-fáze jsou příslušně odsazení od magnetorezistor prvků (4a₁, 4a₂, 4a₃, 4a₄) v A-fázi u T/2, tak, že terminály e₀ a e₁ B-fáze, respektive výstupy dvou sinusových signálů (COS vlna a $\overline{\text{COS}}$ vlna), které mají fázový posun 180°. Rozdíl mezi těmito dvěma sinusovými signály je zesílen tak, aby získal sinusový signál (tj., „COS signál“), který má fázový posun 90° vzhledem k výše uvedenému „SIN signálu“.

Úhel rotace magnetického bubnu (53) může být stanoven na hraně N/4, tím, že zachytí nulu na přechodech výstupů A-fáze a B-fáze. V souladu s tím, je rozteč detekce čtyřikrát menší, než počet divizí N k realizování vysokého rozlišení. V sledovacích přístrojích, rozteč detekce, která je menší, než čtvrtina počtu oddílů N je obecně žádoucí, aby počet magnetických divizí více pólových magnetizovaných vrstev (53a) byl větší, než počet divizí N. Za tímto účelem (viz Obrázek č. 10) je detekční hrana zvýšena interpolačním výpočtem:

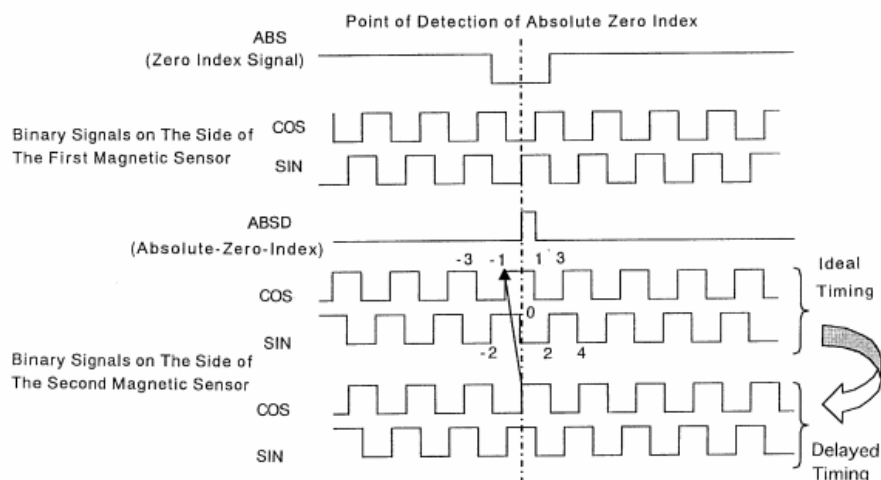
$$\tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

Kde x znamená napětí A-fáze a y představuje napětí B-fáze. Struktura druhého magnetického senzoru (55) je shodná se strukturou prvního magnetického senzoru (54).



Obrázek č. 10: Blokový diagram základních prvků elektrického obvodu magnetického inkrementálního rotačního kodéru.

Z Obrázek č. 10 je u prvního magnetického snímače (54) k dispozici magnetický snímač (54), tři diferenciální zesilovače (71a, 71b, 73), tři binární kódovací obvody (72a, 72b, 74) a detektor indexu absolutní nuly (75). Detekční obvod indexu (Obrázek č. 11) absolutní nuly je základním prvkem zařízení pro detekci indexu absolutní nuly, který má výstup detekčního pulzu „ABSD“. Druhý magnetický senzor (55) má dva diferenciální zesilovače (71c, 71d) a dva binární kódovací obvody (72c, 72d). Elektronický obvod je dále opatřen v horní a dolní části čítačem (76), dvěma západkovými obvody (přidržovací zařízení (77a, 77b)) a mikropočítačem (78). Na elektronický obvod se přivede konstantní napětí (+V a -V) mezi svorkami obvodu můstku A-fáze. Pokud magnetický buben (53) rotuje, dva sinusové signály (SIN vlna a \overline{SIN} vlna), které mají fázový rozdíl 180°, jimi pohybuje s přibližnou hodnotou 0 V. Rozdíl mezi těmito signály je zesílen pomocí diferenciálního zesilovače (71a), aby se dosáhlo sinusové vlny signálu, jehož střední hodnota napětí je přibližně nula. Tento SIN signál je ve srovnání s 0 V prostřednictvím binárního kódovacího obvodu (72a), které mají být kódovány do binárního signálu (high/low úroveň signálu). Elektronický obvod aplikuje konstantní napětí (+V a -V) mezi svorkami obvodu můstku B-fáze, v případě, že magnetický buben (53) otáčí dva sinusové signály (COS vlna a \overline{COS} vlna), které mají fázový rozdíl 90° vzhledem ke zmíněným dvěma sinusovým vlnám (SIN vlna a \overline{SIN} vlna) vystupují z terminálů e0 a e1 z A-fáze, v daném pořadí. Rozdíl mezi těmito dvěma sinusovými signály je zesílen diferenciálního zesilovače (71b), čímž se získá sinusový signál (COS signál), jehož střední hodnota napětí je přibližně nula. Tento COS signál je ve srovnání s 0 V skrz binární kódovací obvod (72b), které mají být kódovány do binárního signálu (high/low úroveň signálu). V tomto provedení je indexem absolutní nuly detekční impuls ABSD generovaný stoupáním od nuly do jedné v okamžiku, kdy binární SIN signál stoupá z nuly na jedna – při podmínce, že signál ABS index je nula, a že binární COS signál je nulový. Údaje o úrovni (1 nebo 0) binárního signálu a SIN údaje o úrovni binárního COS signálu na druhém magnetickém snímači (55) se zaklapnou v západkovém obvodu (77a, 77b) v uvedeném pořadí tak, aby se vstup do mikropočítače (78) v reakci na vzestup indexu absolutní nuly detekčního impulsu ABSD. Poté, co mikropočítač (78) detekuje index absolutní nuly detekční impulsu ABSD, horní/dolní čítač (76) zvyšuje nebo snižuje hodnotu čítače, záleží na shodě se směrem otáčení magnetického bubnu (53) pokaždé, když mikropočítač (78) detekuje bod změny každého z SIN signálu a COS signálu, které jsou výstupem z každého ze dvou magnetických snímačů (54, 55).



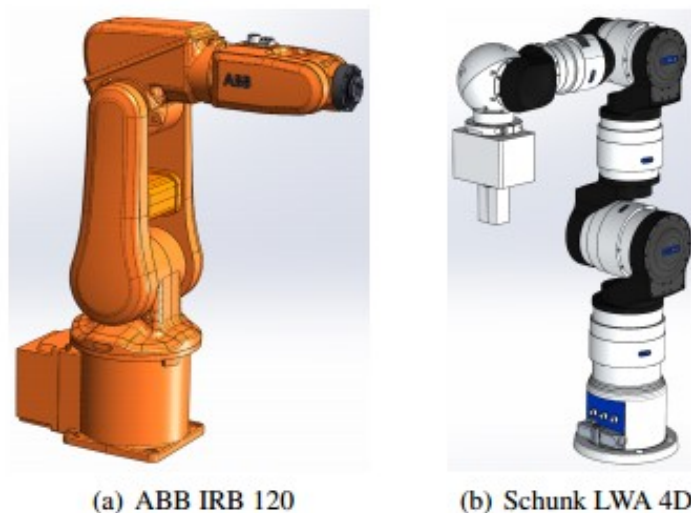
Obrázek č. 11: Graf závislosti signálů v čase.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1. JÁGER, Arnold. Využití 3D CAD dat pro simulaci v systému Matlab Simulink/SimMechanics. *Studentská Vědecká Konference 2016*. 2016, 79-80 [7].

V tomto článku autor popisuje možnosti využití softwaru Matlab pro vytvoření simulace libovolné struktury. V dnešní době existuje mnoho specializovaných softwarů pro tvorbu 3D nástrojů či 3D modelů mechatronických zařízení. Samotná data z těchto modelů se následně dají výhodně využít pro různé simulace. Vhodným nástrojem může být například interaktivní programové prostředí a skriptovací programovací jazyk Matlab a jeho komponenta Simulink s knihovnou Simscape-SimMechanics (dnes už Simscape Multibody). Hlavní výhoda využití tohoto systému spočívá jednak v možnosti využít další nástroje prostředí Matlab, a také v univerzálnosti, kdy lze na rozdíl od softwarových nástrojů, dodávaných výrobcí průmyslových robotů, vytvořit libovolnou mechatronickou strukturu. Tyto softwarové nástroje jsou navíc dostupné buď s velmi omezenou funkcí, nebo až po zakoupení zařízení od daného výrobce.

Téměř každý výrobce průmyslových robotů (Kuka, ABB, Stäubli), či mechatronických zařízení (Schunk, Maxon motor) již dnes poskytuje alespoň v nějaké základní podobě 3D model svého zařízení.



Obrázek č. 12: 3D modely robotických ramen v programu Solidworks.

Na Obrázek č. 12 můžeme vidět 3D modely ramen v programu Solidworks. Tento program také umožňuje jednotlivým dílům robotu přiřadit materiálové vlastnosti, ze kterých je pak program schopný vypočítat dynamické vlastnosti jednotlivých komponent. Tyto hodnoty pak lze využít při definování mechanické struktury v prostředí SimScape Multibody.

V případě převedení vizualizačních dat je potřeba nejprve provést dekompozici robotu na jednotlivá ramena a následně těmto ramenům definovat souřadné systémy, podle kterých je možné v SimScape Multibody jednoznačně určit polohu a orientaci daného ramene. Následně pak lze jednotlivá

ramena vůči těmto souřadným systémům vyexportovat do vhodného grafického formátu, který je v případě SimScape Multibody formát STL. Pro potřeby vizualizace lze takto vyexportovat nejenom jednotlivé díly robotů, ale například i okolní konstrukce a sledovat tak, jestli při pohybu nedochází ke kolizím, nebo například průběh trajektorie koncového efektoru a kontrolovat tím správnost algoritmů pro sledování požadované trajektorie.

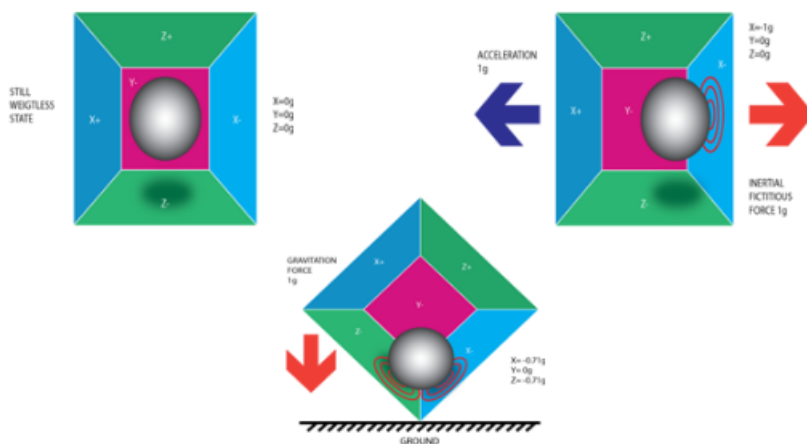
3. TEORETICKÝ ROZBOR

3.1. Gyroskop

Gyroskop je zařízení sloužící k určení prostorové orientace prostřednictvím úhlové rychlosti v gravitačním poli Země. Dalším senzorem, který se často využívá společně s gyroskopem, je akcelerometr. Ten slouží ke snímání polohy vůči zemskému povrchu prostřednictvím vibrací [8].

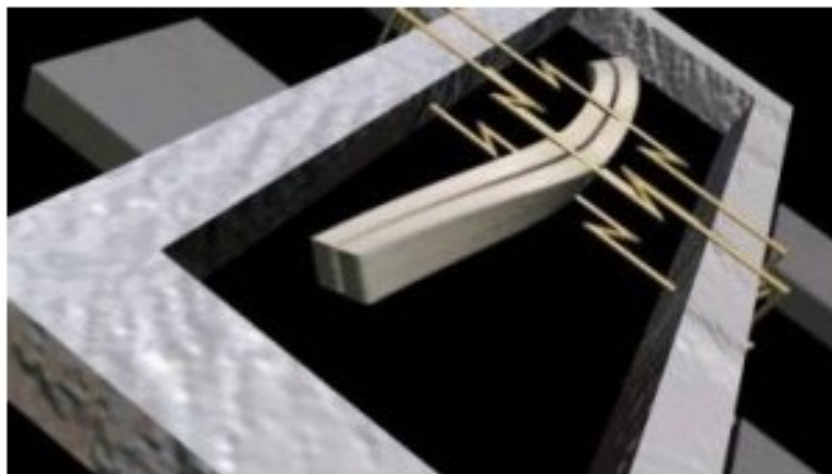
Gyroskop sestává ze setrvačníku, který zachovává polohu osy své rotace v inerciálním prostoru, je to takové těžké kolo otáčející se v ložiscích s nepatrným třením. Když se roztočí setrvačník, má moment hybnosti, takže jeho osa bez působení vnějších sil udržuje stále stejný směr. Nemusí se však nutně jednat o žádné složité zařízení – gyroskopem lze nazvat jakékoliv těleso, které má tendenci zachovat svou osu rotace díky svému momentu setrvačnosti. Tomuto jevu se říká gyroskopický efekt a dochází k němu hlavně v případech, kdy je hmotnost setrvačníku soustředěná po obvodu. Gyroskopem pak může být například i obyčejné kolo od bicyklu, motorky či jiného dopravního prostředku. Je to tedy zařízení, které dokáže určit svoji orientaci v prostoru. Čím větší průměr rotoru, tím je gyroskopický efekt větší. Gyroskopický efekt se také zvyšuje s otáčkami rotoru – tedy čím větší rychlost, tím je gyroskopický efekt silnější. Obvykle je setrvačník uložen v tzv. Kardanových závěsech, má tzv. 3 stupně volnosti. Kardanův závěs je zavěšení tělesa v tomto případě setrvačníku v kovových prstencích spojených otočnými čepi tak, že osy čepů jsou navzájem kolmé a umožňují rotaci ve třech osách. Pro své vlastnosti je hojně využíván např. v letectví (tzv. umělý horizont), dále jako gyromouse, gyrokompas, navigace lodí, vesmírných stanic, satelitů, spaceball atd. [9, 13].

Gyroskop kompatibilní s Arduinem a relativně snadno konfigurovatelným senzorem pro snímání pohybu je mikročip MPU 6050. Jedná se o senzor obsahující gyroskop a akcelerometr v jednom čipu [9]. Arduino MPU 6050 je jedním z IMU (měřicí jednotka setrvačnosti) senzorů. IMU senzory obvykle obsahují dvě nebo více částí. Dle priority: akcelerometr, gyroskop, magnetometr a výškový senzor. MPU 6050 je senzor 6DOF (úhlů volnosti), nebo šesti osy IMU senzor, což znamená, že vrací 6 hodnot. 3 hodnoty z akcelerometru a 3 z gyroskopu. MPU 6050 je senzor založený na technologii MEMS (mikroelektromechanické systémy). Oba akcelerometr i gyroskop jsou vloženy do jednoho čipu. Tento čip používá I2C (počítačová sériová sběrnice) protokol pro komunikaci [10].



Obrázek č. 13: Piezoelektrický akcelerometr na principu piezoelektrického jevu [10].

Na Obrázek č. 13 vidíme těleso v boxu ze stěn tvořených piezoelektrickými krystaly. Těleso je na obrázku úplně vlevo v klidu. Ovšem při pohybu těleso setrvává v klidu a box kolem něj začne působit silou a těleso působí silou na box, čímž naráží na zeď a vytváří elektrický proud. V boxu jsou přesně 3 páry vodorovných zdí, které zastupují 3 osy v 3D prostoru: X, Y a Z osy. Vzhledem k velikosti vytvořeného proudu jsme schopni určit směr, náklon a rozsah [10].



Obrázek č. 14: Piezoelektrický gyroskop na principu Coriolisových sil [10].

Představme si strukturu podobnou vidličce, která je v neustálém pohybu tam a zpět. Gyroskop je držen na místě pomocí piezoelektrických krystalů. Kdykoli se pokusíte naklonit tuto strukturu, krystaly pocítí sílu ve směru sklonu. To je způsobeno důsledkem setrvačnosti pohyblivé vidlice. Krystaly produkují proud v závislosti na piezoelektrickém jevu a tento proud je zesílen. Tyto hodnoty jsou pak zpracovány hostitelským mikrokontrolerem [10].

3.2. Arduino

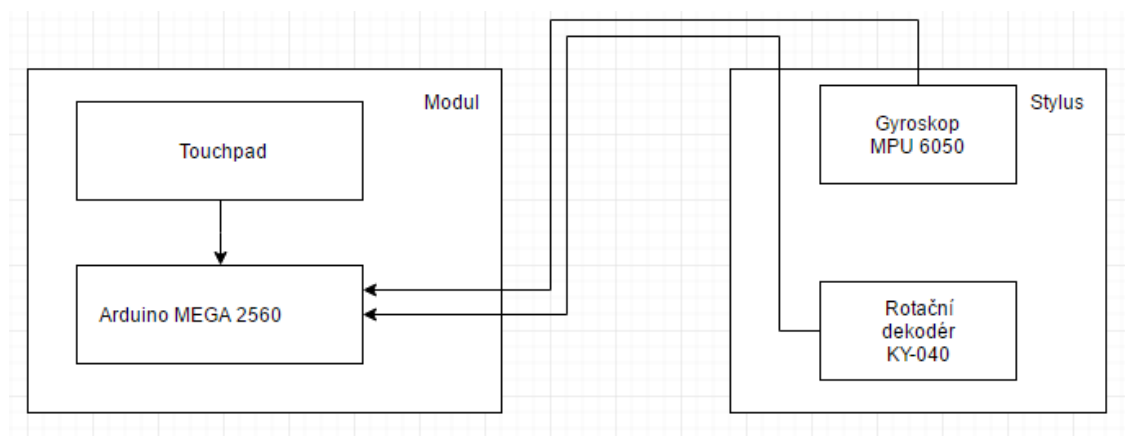
Ve své práci jsem využil vývojové desky Arduino MEGA 2560. MEGA 2560 je mikrokontrolerová deska založená na jádře ATmega2560. Má 54 digitálních vstupů/výstupů, 16 analogových vstupů, 4 UARTs (hardware seriové porty), 16 MHz krystalový oscilátor, USB připojení, napájení a reset tlačítko [11].

Arduino IDE (integrované vývojové prostředí) je prostředí pro samotné programování modulů připojených k Arduino nebo samotnou desku Arduina. Arduino IDE je napsané v jazyce Java. Jedná se o software vzniklý z prostředí Processing. Program Processing využívám pro simulační testování dat během testování gyroskopu. Program Processing byl mírně upraven a byly přidány určité funkce a přidána podpora jazyka Wiring. Jazyk Wiring umožňuje posílání dat přes kabely z vývojové desky MEGA 2560 do např. gyroskopu MPU 6050 [12, 14].

4. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

4.1. Návrh řešení

V této bakalářské práci řeším problematiku dálkového ovládání robotického ramene s ultrazvukovou sondou. K tomu, aby bylo možné ovládat toto rameno, musel být navržen modul pro dálkovou manipulaci. Tento modul (viz Obrázek č. 15) se skládá z vývojové desky Arduino MEGA 2560, stylusu, touchpadu, gyroskopu MPU 6050, rotačního dekodéru KY-040 a programy k implementaci algoritmu do modulu jako Arduino IDE, Microsoft Visual Studio.



Obrázek č. 15: Blokové schéma návrhu modulu.

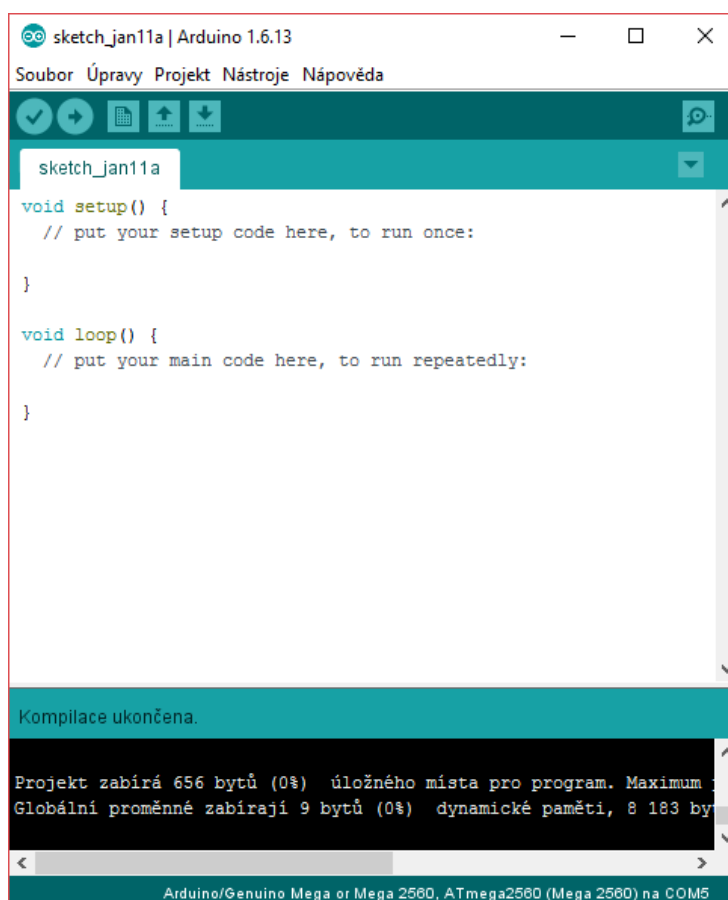
Pro představu, klinik bude mít k dispozici tento modul – touchpad s vývojovou deskou v jednom zařízení. Touchpad bude na povrchu zařízení, aby s ním mohl manipulovat pomocí stylusu. Stylus se bude skládat ze samotného stylusu, gyroskopu a rotačního enkodéru. Pro zjišťování polohy stylusu byl využit gyroskop a pro přesnost na ploše XY touchpad, pro doplňující pohyb po ose Z potom inkrementální rotační dekodér KY-040. Pro samotné naprogramování modulu je využito vlastního programu Arduino IDE, pro testování simulace dat z gyroskopu programu Processing. V závěrečné fázi, po propojení všech modulů s vývojovou deskou, budou data načtena do Matlabu, kde pomocí service packages (konkrétně knihovny Arduino) budou naprogramována a přijímána data ke zpracování přímo v programu Microsoft Visual Studio, kde v interface vykreslí data.

4.2. Testování funkčnosti Arduina MEGA 2560



Obrázek č. 16: Arduino MEGA 2560 [12].

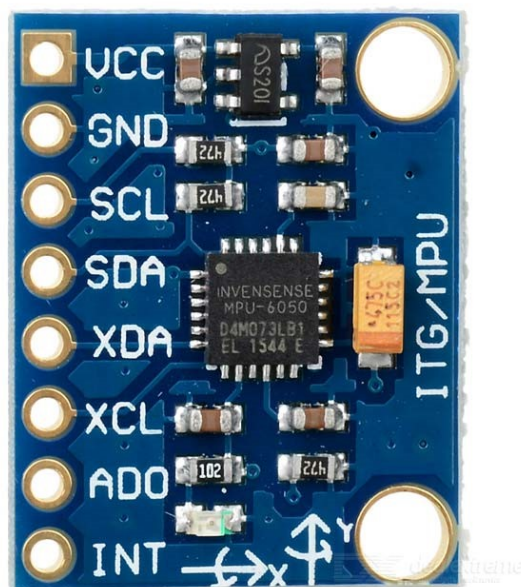
Po připojení Arduina MEGA 2560 (Obrázek č. 16) a nainstalování Arduino IDE byl proveden test funkčnosti zápisem na mikrokontroler MEGA 2560. Na Obrázek č. 17 můžeme vidět, že kontrola a kompilace projektu proběhla úspěšně.



Obrázek č. 17: Testování funkčnosti vývojové desky MEGA 2560 v programu Arduino IDE.

4.3. Kontrola gyroskopu MPU 6050

Gyroskop MPU6050 (Obrázek č. 18) je zařízení, které se dá zakoupit a používat s vývojovými deskami Arduino/Genuino i dalšími. Tento model byl vybrán pro jeho širokou škálu možných dat, které je toto zařízení schopné získávat. Z předchozího průzkumu trhu bylo usouzeno, že tento model je nejlépe kompatibilní s deskou Arduino MEGA 2560, která je v této práci použita.



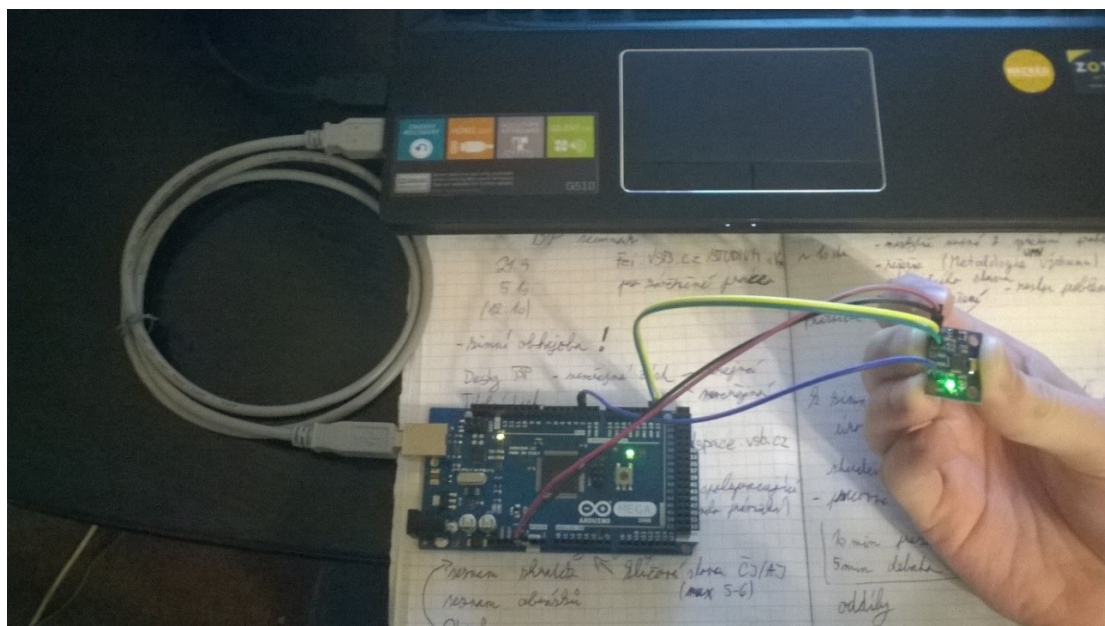
Obrázek č. 18: Gyroskop a akcelerometr MPU 6050 [12].

Gyroskop a akcelerometr MPU 6050 byl připojen k vývojové desce Arduino MEGA 2560 pomocí kabelů (Obrázek č. 19, Obrázek č. 20). Propojení pinů je následovné:

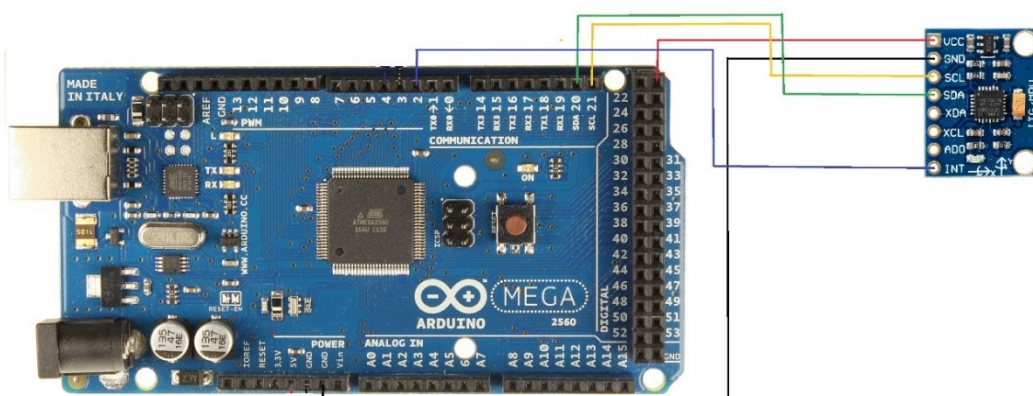
Tabulka č. 1: Zapojení gyroskopu k desce Arduino MEGA 2560

Arduino MEGA 2560	MPU 6050
5 V (Power)	VCC
GND	GND
SCL (pin 21)	SCL
SDA (pin 20)	SDA
PWM (pin 2)	INT

Z Tabulka č. 1 lze vyčíst, že bylo propojeno pouze 5 pinů. Pin VCC je napájecí napětí +5 V, GND je zem. SCL je tzv. hodinový signál a SDA je datový kanál. Oba tyto piny komunikují pomocí I2C protokolu. INT slouží pro detekci přerušení od DMP.



Obrázek č. 19: Gyroskop a akcelerometr MPU 6050 připojený k vývojové desce Arduino MEGA 2560.



Obrázek č. 20: Schéma zapojení Gyroskopu MPU6050.

Pro testování funkčnosti gyroskopu a zpracování dat z gyroskopu, byl napsán kód pro získání dat v programu Arduino IDE. Kód je uveden v příloze č. II: Gyroskop surova data. Vývojový diagram programu gyroskopu pro výpis surových dat přehledně uvádí vývojový diagram (viz Obrázek č. 22); a příklad surových dat z gyroskopu MPU6050 (viz Obrázek č. 21).



```

COM5 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
Pošli

AcX = -264 | AcY = 3112 | AcZ = 18420 | Temp = 23.73 | GyX = 596 | GyY = -135 | GyZ = 597
AcX = -884 | AcY = 3328 | AcZ = 18576 | Temp = 23.73 | GyX = 339 | GyY = -403 | GyZ = 668
AcX = -1024 | AcY = 3196 | AcZ = 18348 | Temp = 23.64 | GyX = 658 | GyY = -188 | GyZ = 263
AcX = -788 | AcY = 3408 | AcZ = 18420 | Temp = 23.73 | GyX = 615 | GyY = -252 | GyZ = 488
AcX = -820 | AcY = 3196 | AcZ = 18564 | Temp = 23.73 | GyX = 481 | GyY = -327 | GyZ = 588
AcX = -696 | AcY = 2932 | AcZ = 18716 | Temp = 23.73 | GyX = 472 | GyY = -320 | GyZ = 690
AcX = -812 | AcY = 3408 | AcZ = 18292 | Temp = 23.78 | GyX = 598 | GyY = -168 | GyZ = 400
AcX = -1224 | AcY = 3168 | AcZ = 18164 | Temp = 23.73 | GyX = 585 | GyY = -252 | GyZ = 387
AcX = -1264 | AcY = 3196 | AcZ = 18308 | Temp = 23.68 | GyX = 500 | GyY = -44 | GyZ = 427
AcX = -1232 | AcY = 3288 | AcZ = 18244 | Temp = 23.82 | GyX = 507 | GyY = -143 | GyZ = 670
AcX = -972 | AcY = 3516 | AcZ = 18360 | Temp = 23.78 | GyX = 622 | GyY = -322 | GyZ = 520
AcX = -892 | AcY = 3436 | AcZ = 18344 | Temp = 23.78 | GyX = 526 | GyY = -631 | GyZ = 646
AcX = -924 | AcY = 3340 | AcZ = 18400 | Temp = 23.73 | GyX = 470 | GyY = -572 | GyZ = 649
AcX = -1192 | AcY = 3300 | AcZ = 18340 | Temp = 23.73 | GyX = 411 | GyY = -386 | GyZ = 642
AcX = -1200 | AcY = 3484 | AcZ = 18348 | Temp = 23.78 | GyX = 540 | GyY = -1 | GyZ = 529
AcX = -1328 | AcY = 3308 | AcZ = 18592 | Temp = 23.87 | GyX = 507 | GyY = -189 | GyZ = 549
AcX = -1152 | AcY = 1844 | AcZ = 19188 | Temp = 23.78 | GyX = -493 | GyY = -1152 | GyZ = 626
AcX = -3100 | AcY = 320 | AcZ = 17928 | Temp = 23.87 | GyX = -3197 | GyY = 3584 | GyZ = -1649
AcX = -8540 | AcY = -2296 | AcZ = 14180 | Temp = 23.78 | GyX = -1541 | GyY = 4393 | GyZ = 537
AcX = -4380 | AcY = 116 | AcZ = 16416 | Temp = 23.73 | GyX = 7274 | GyY = -15615 | GyZ = 3247
AcX = 4824 | AcY = 3320 | AcZ = 17672 | Temp = 23.82 | GyX = 585 | GyY = -7337 | GyZ = 3282
AcX = 7640 | AcY = 4136 | AcZ = 17212 | Temp = 23.87 | GyX = 9291 | GyY = 7146 | GyZ = -5035
AcX = 2372 | AcY = 13532 | AcZ = 12088 | Temp = 23.82 | GyX = 5856 | GyY = 3151 | GyZ = 865
AcX = 2420 | AcY = 13072 | AcZ = 14904 | Temp = 23.82 | GyX = -11680 | GyY = -2846 | GyZ = 1159
AcX = 1604 | AcY = 1332 | AcZ = 17704 | Temp = 23.82 | GyX = -5998 | GyY = -1648 | GyZ = -3353
AcX = 1328 | AcY = -2588 | AcZ = 17948 | Temp = 23.82 | GyX = -5122 | GyY = 4335 | GyZ = -1692
AcX = -148 | AcY = -2140 | AcZ = 17304 | Temp = 23.87 | GyX = 6461 | GyY = -1311 | GyZ = 2048
AcX = 1052 | AcY = 856 | AcZ = 20076 | Temp = 23.82 | GyX = 2310 | GyY = -211 | GyZ = 3213
AcX = -692 | AcY = 252 | AcZ = 18552 | Temp = 23.92 | GyX = 478 | GyY = 325 | GyZ = 417
AcX = 52 | AcY = 744 | AcZ = 18576 | Temp = 23.87 | GyX = 548 | GyY = -795 | GyZ = 576

Automatické scrollování Chybný konec řádky 115200 baudů
  
```

Obrázek č. 21: Výpis surových dat z gyroskop MPU6050.

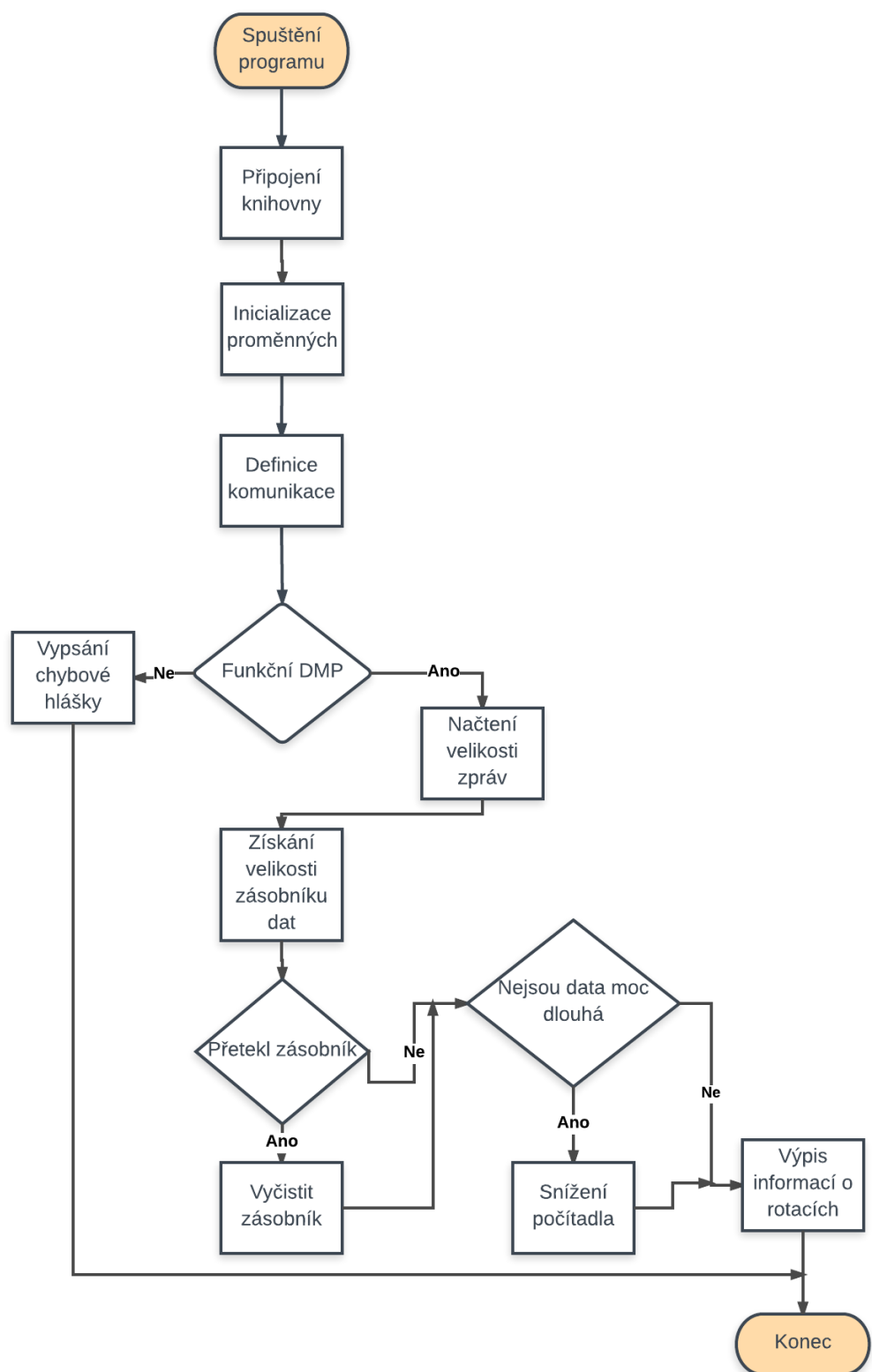
Obrázek č. 22: Vývojový diagram programu gyroskopu pro výpis surových dat.

Hodnoty AcX, AcY, AcZ (viz Obrázek č. 21) jsou zkratkou pro Acceleration to X, Y, Z a udávají hodnoty akcelerometru k osám XYZ, neboli zrychlení.

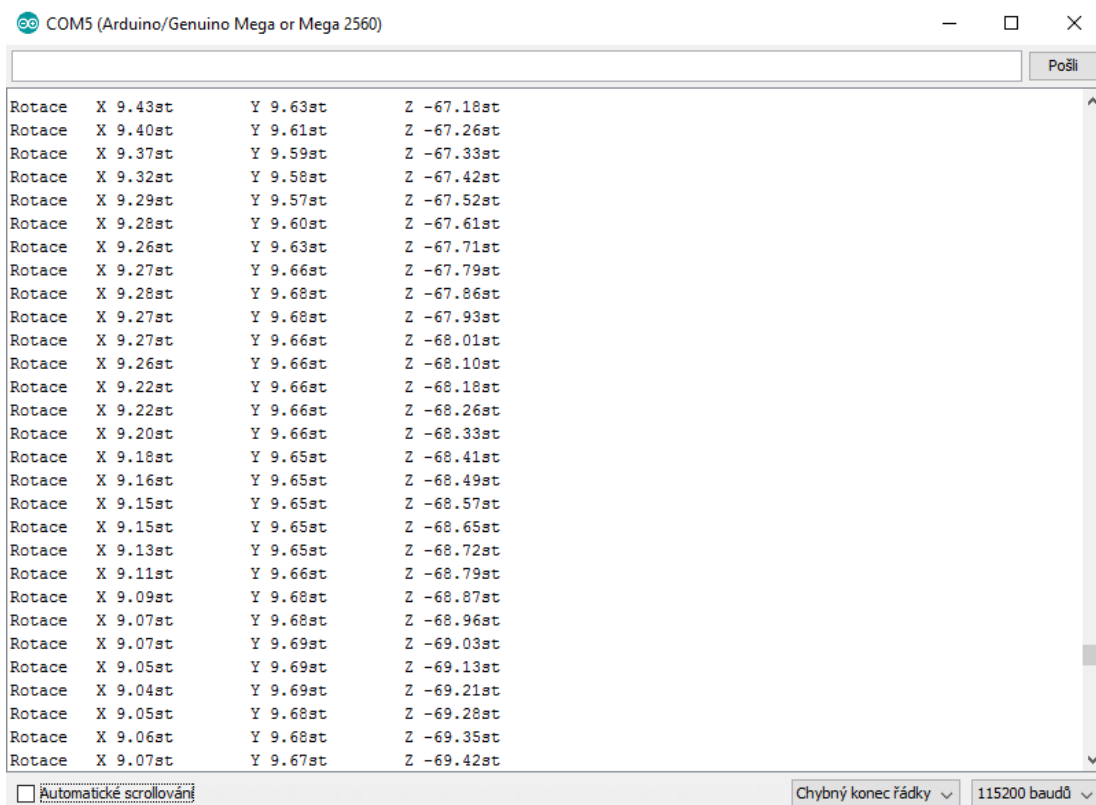
Hodnoty GyX, GyY, GyZ jsou zkratky pro Gyro a udávají hodnotu gyroskopu k osám XYZ, neboli zrychlení na závažíčka, které se pohybují v gyroskopu dle patentové řešerše a udávají rotaci gyroskopu.

Hodnota Temp je zkratkou pro Temperature (teplotu).

Pro realizaci praktické části bakalářské bylo zapotřebí získat mnohem přesnější hodnoty rotace gyroskopu. Jednotlivé funkční bloky programu pro získání přesnějších dat z gyroskopu je graficky zobrazen (viz Obrázek č. 23); výpis dat rotace z gyroskopu MPU6050 (viz Obrázek č. 24). Tato data jsou použita v programu simulink SimScape Multibody, jako rotace posledního článku robotického ramene. Kód je uveden v příloze č. III: Gyroskop.



Obrázek č. 23: Vývojový diagram programu gyroskopu pro přesnější data.



Obrázek č. 24: Výpis dat rotace z gyroskopu MPU6050.

4.4. Kontrola rotačního enkodéru KY-040

Rotační enkodér KY-040 (Obrázek č. 25) je stejně jako gyroskop MPU6050 zařízení, které je kompatibilní s vývojovými deskami Arduino/Genuino i dalšími [15]. Po prozkoumání možných variant byl vybrán ten to model, především kvůli jednoduchosti jeho implementace.



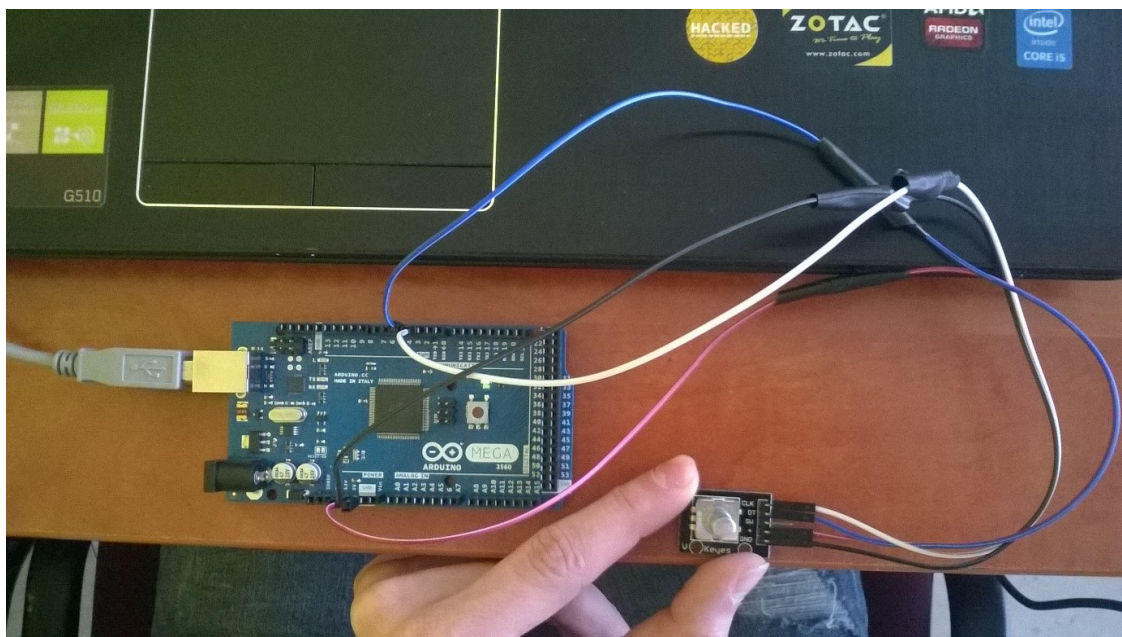
Obrázek č. 25: Rotační enkodér s tlačítkem (modul KY-040) [11].

Rotační enkodér byl připojen k vývojové desce pomocí kabelů (viz Obrázek č. 26; Obrázek č. 27).

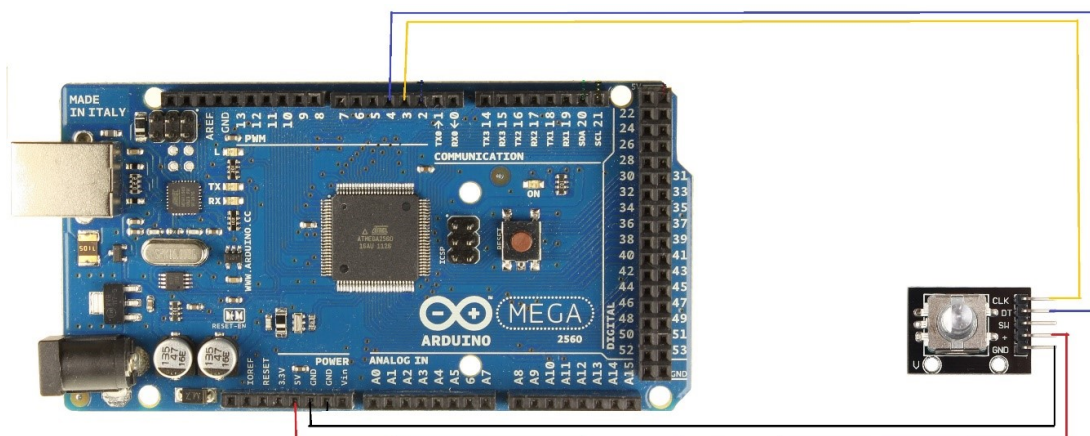
Tabulka č. 2: Zapojení rotačního enkodéru k desce Arduino MEGA 2560

Arduino MEGA 2560	KY-040
5 V (Power)	+
GND	GND
CLK (pin 3)	CLK (Clock)
DT (pin 4)	DT (Data)

V Tabulka č. 2 vidíme, že byly propojeny jen 4 piny. Pátý pin je softwarový pin. Tento pin snímá ovládací prvek, který je umístěn pod rotační částí zařízení, a lze s ním klikat. Pin+ udává pin pro napájecí napětí +5 V, GND je zem. CLK je Clock. Clock je synchronizační obdélníkový signál, který vysílá podmínku pro odeslání dat, pokud je na náběžné hraně signálu. DT neboli Data je pin, který posílá informace (data), pokud je splněna podmínka CLK.

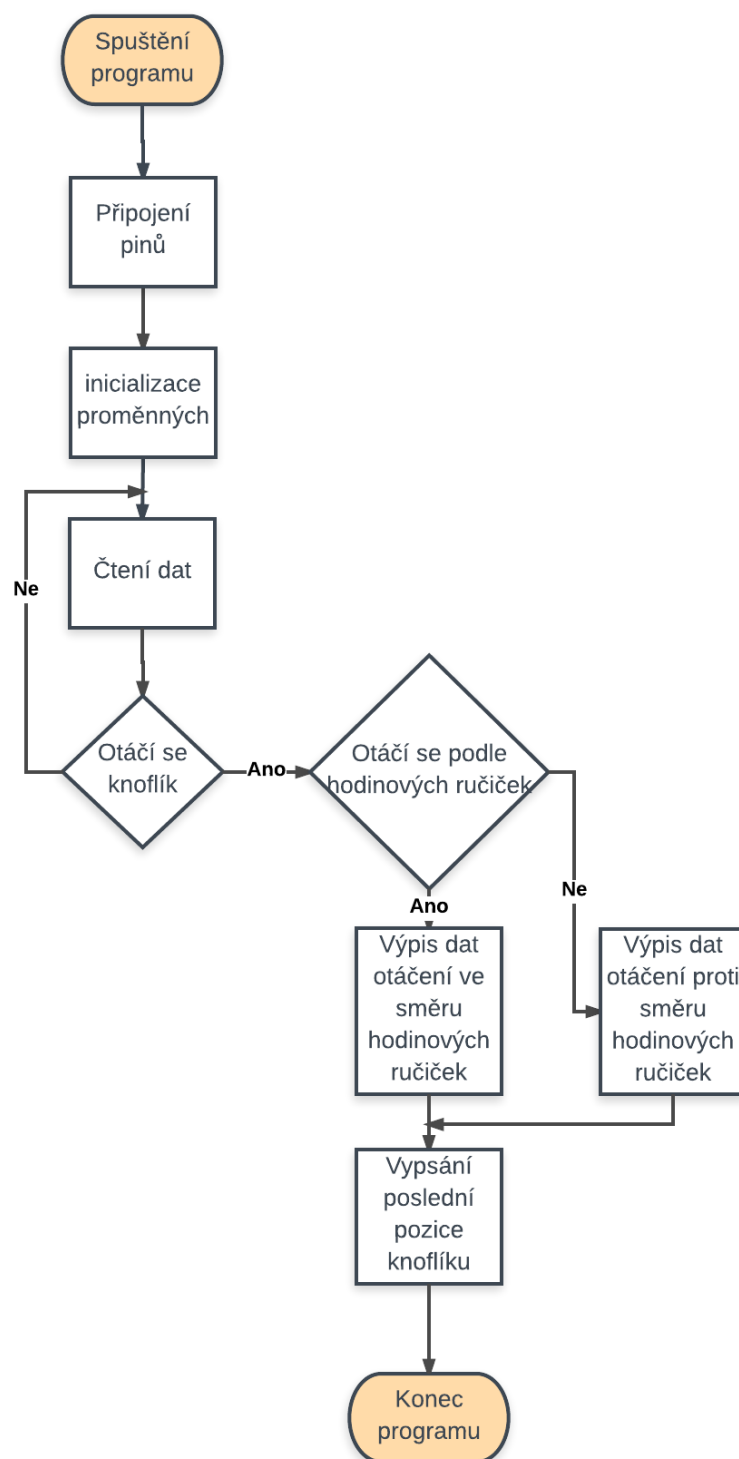


Obrázek č. 26: Zapojení rotačního enkodéru KY-040 do Arduino MEGA 2560.

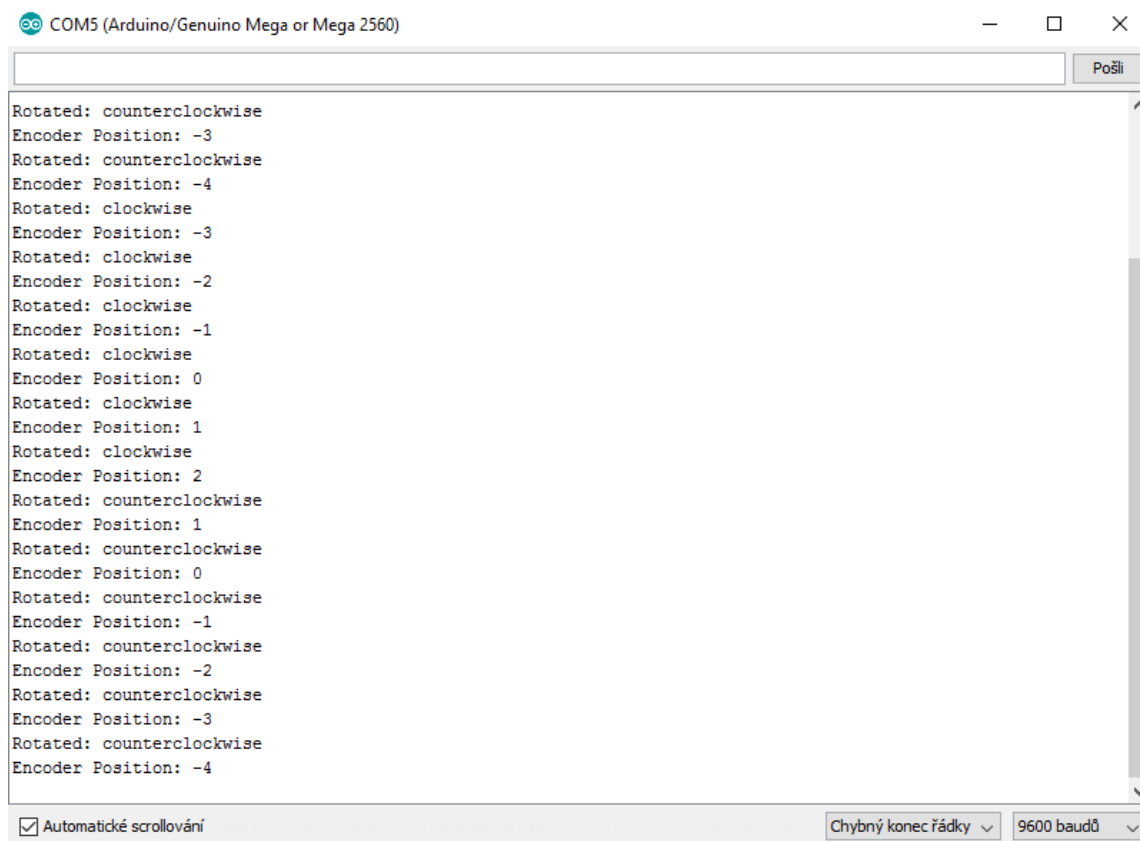


Obrázek č. 27: Schéma zapojení rotačního enkodéru KY-040

Pro otestování rotačního enkodéru KY-040 byl napsán kód (viz Obrázek č. 28) v programu Arduino IDE, aby bylo možné získávat data při manipulaci se zařízením. Kód je uveden v příloze č. VI: Rotací enkoder. Výpis dat rotačního enkodéru v programu Arduino IDE je uveden na (viz Obrázek 29). Rotační enkodér vrací pouze hodnoty pozice od původního stavu a směru, kterým se ovládací prvek na enkodéru otočil.



Obrázek č. 28: Vývojový diagram programu rotačního enkodéru.



Obrázek 29: Výpis dat rotačního enkodéru v programu Arduino IDE.

4.5. Kontrola touchpadu

Touchpad byl vybrán použitý touchpad od společnosti Synaptics [16, 17] s chipsetem T1006 (viz Obrázek č. 30), který byl demontován z již nefunkčního notebooku. Schéma zapojení touchpadu Synaptics do vývojové desky Arduino MEGA 2560 je zobrazeno (viz Obrázek č. 31; Obrázek č. 32).



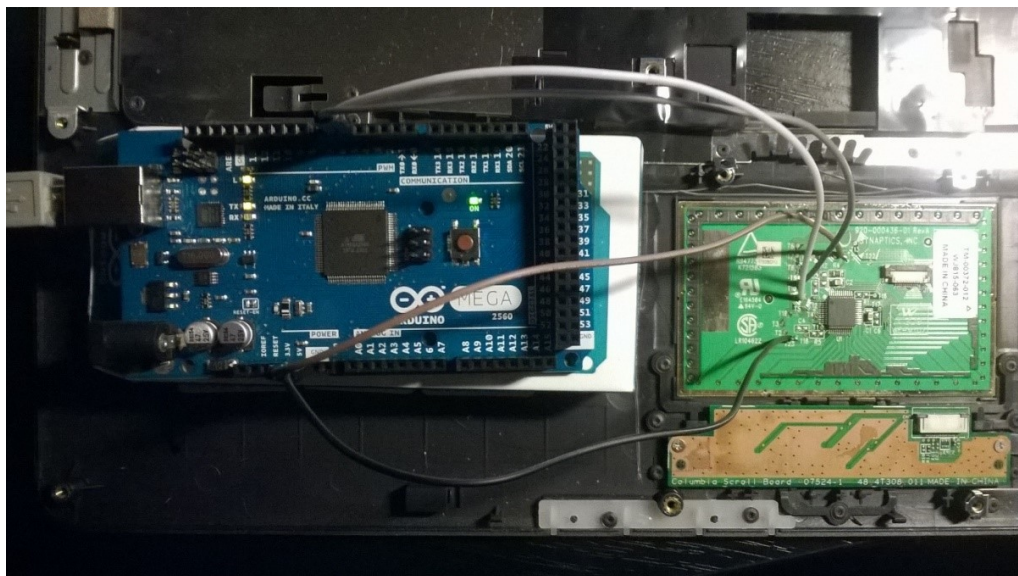
Obrázek č. 30: Touchpad Synaptics s chipsetem T1006

Dle datasheetu, který je v příloze (Příloha I. Datasheet touchpadu Synaptics T1006), bylo k tomuto modelu zjištěno rozmístění pinů (viz Tabulka č. 3), které jsou pro práci s tímto typem touchpadu nezbytné. Byly použity piny pro napájení, zem, data a clock. Jsou to tytéž piny, které jsou použity pro rotační enkodér.

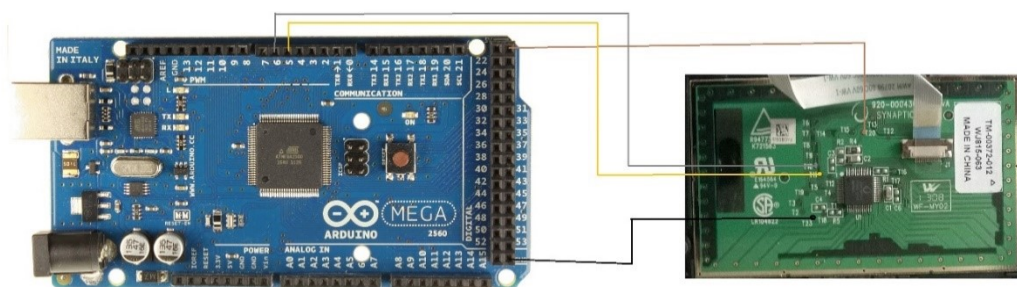
Tabulka č. 3: Zapojení pinů touchpadu Synaptics

Arduino MEGA 2560	Touchpad Synaptics
5 V (Power)	T 20, T 22
GND	T 23, T 30
Clock (pin 6)	T 11
Data (pin 5)	T 10

Pro aktuální účely byly použity (a jsou dostačující) pouze tyto piny. Ostatní piny (např. T 8 scroll up, T 9 scroll down a T 7, 6, 5, 4: doleva, doleva, dolů a nahoru) nejsou prozatím potřebné.



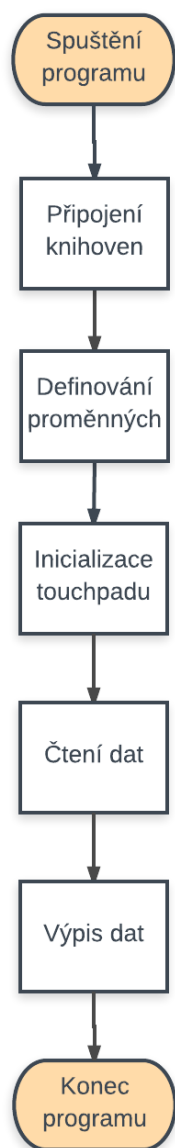
Obrázek č. 31: Zapojení touchpadu Synaptics do Arduino MEGA 2560.



Obrázek č. 32: Schéma zapojení touchpadu Synaptics do Arduino MEGA 2560.

Pro otestování funkčnosti touchpadu Synaptics byl rovněž napsán kód v programu Arduino IDE, aby bylo možné získávat data při manipulaci se zařízením (viz Obrázek č. 34). Ukázka vypsaných dat z touchpadu z programového prostředí Arduino IDE je uveden na Obrázek č. 33. Kód je uveden v příloze č. V: Touchpad.

Touchpad vypisuje pohyb prstu. První hodnotou je byte, který vrací hodnotu pozice prstu na touchpadu. Další hodnota je pohyb na ose X a poslední je pohyb na ose Y.



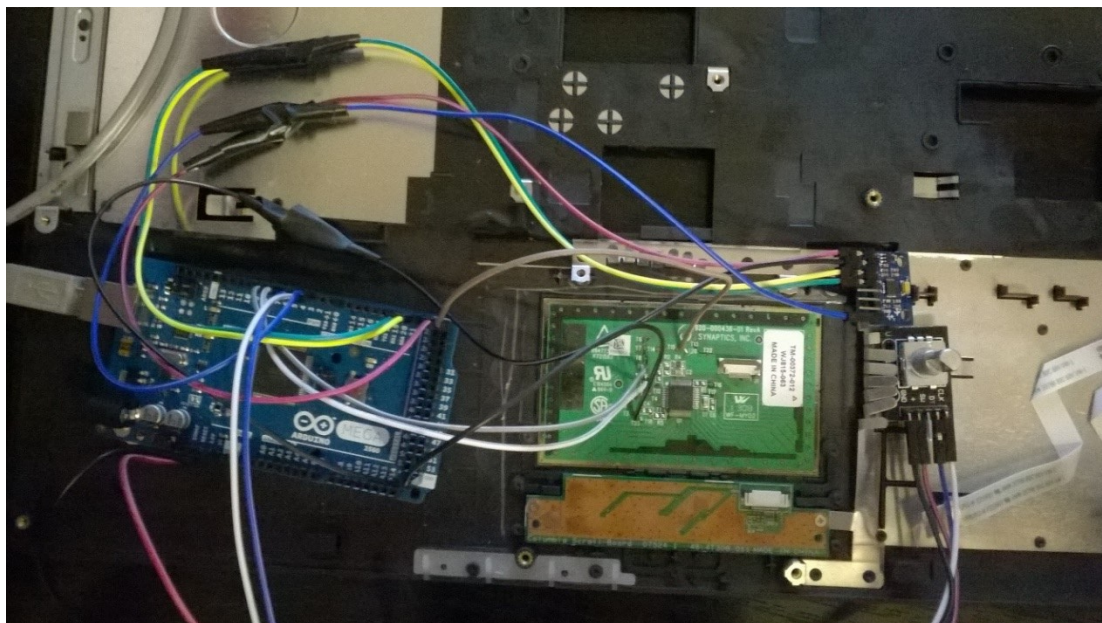
The screenshot shows the serial monitor window in the Arduino IDE, titled 'COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)'. The output displays a series of coordinate pairs (x,y) for each touch event, such as '8:0,0', '8:4,0', '40:2,-2', etc. The window includes a 'Pošli' (Send) button and a status bar at the bottom with options for 'Automatické scrollování' (Automatic scrolling), 'Chybný konec řádky' (Wrong line ending), and '115200 baud'.

Obrázek č. 33: Výpis dat touchpadu z programu Arduino IDE.

Obrázek č. 34: Vývojový diagram programu pro touchpad

4.6. Propojení všech zařízení s Arduino MEGA 2560

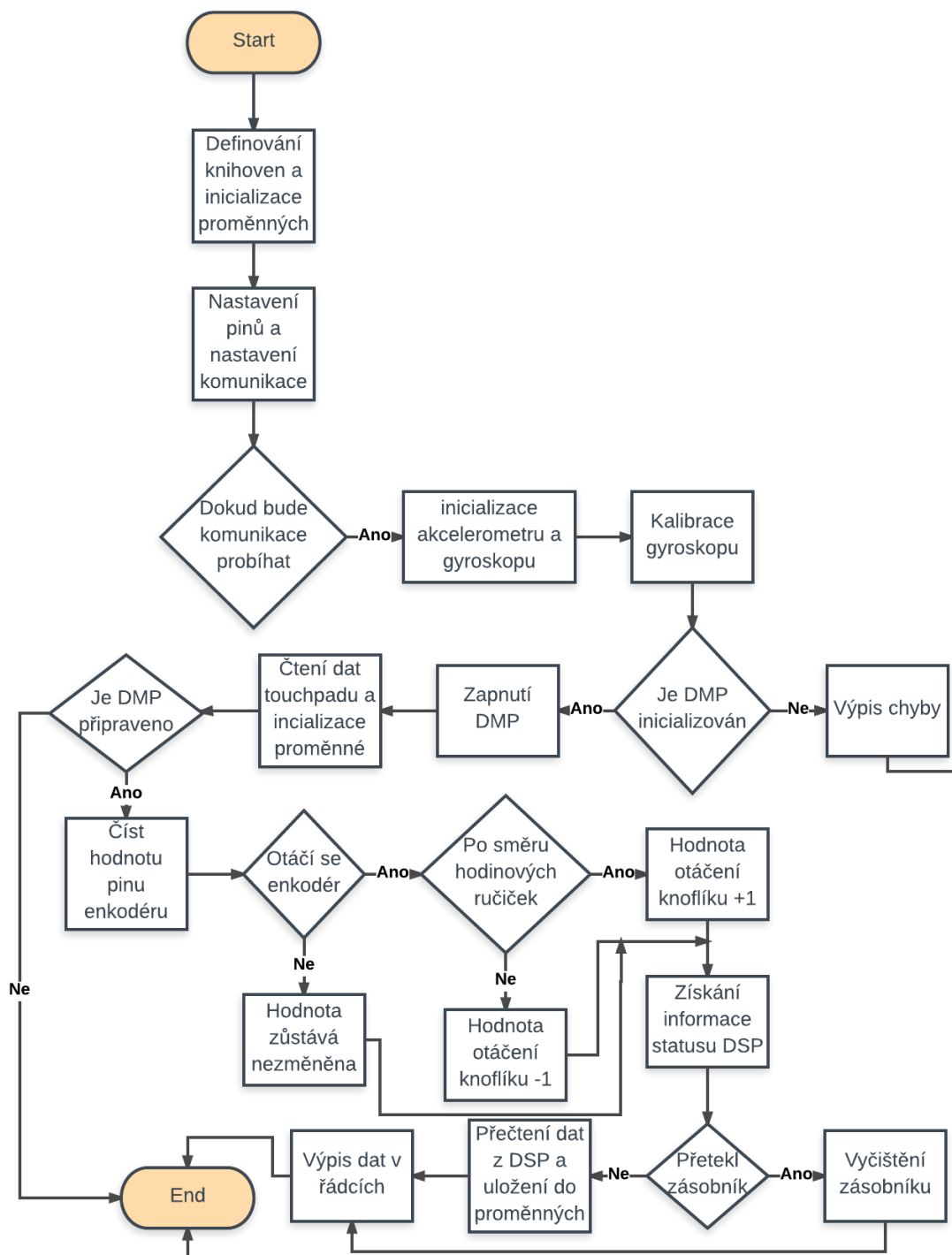
K dalšímu zpracování dat bylo zapotřebí přiblížit se k návrhu modulu a propojit všechna zařízení do Arduino MEGA 2560 (viz Obrázek č. 35). Při připojení více zařízení bylo potřeba si zapamatovat přesné zapojení pinů všech zařízení do Arduino MEGA 2560 (viz Tabulka č. 4). V tomto kódu byly použity kódy z předchozích kapitol. Ty byly modifikovány tak, aby mohly vzájemně fungovat v jednom programu. Kód je uveden v příloze č. VI: Processing komplet. Veškerá výstupní data byla vypsána jako string pomocí vlastní funkce myPrintln(), která obsahovala výpis všech dat, která byla potřebná pro další pokračování. Jednotlivé bloky programu pro komunikaci s programem Processing jsou uvedeny ve vývojovém diagramu (Obrázek č. 36). Ukázka kódu pro komunikaci s programem Processing v programu Arduino IDE je uvedena na (Obrázek č. 37).



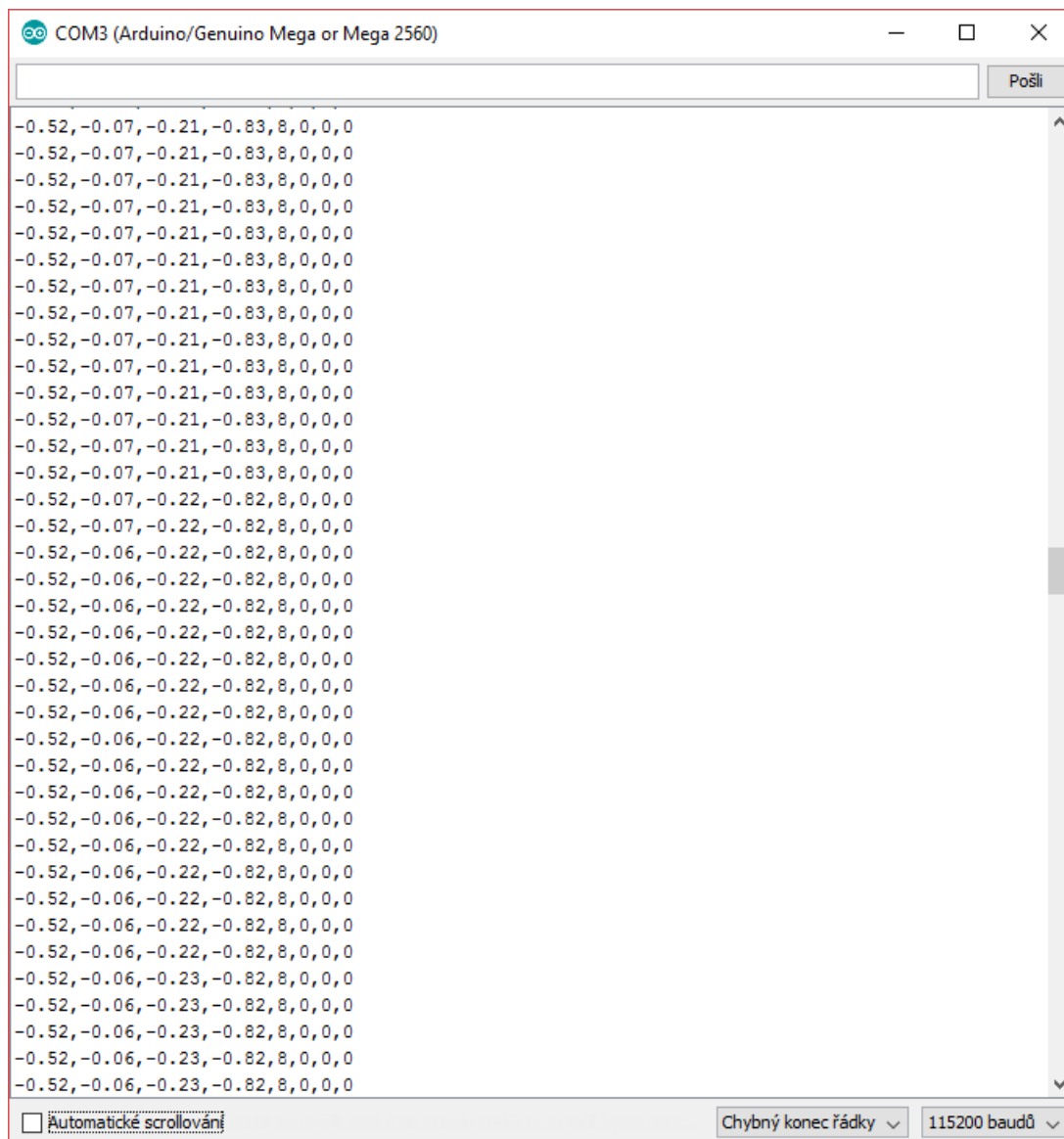
Obrázek č. 35: Propojení všech zařízení do Arduino MEGA 2560

Tabulka č. 4: Zapojení pinů všech zařízení do vývojové desky Arduino MEGA 2560

Arduino MEGA 2560	Gyroskop MPU 6050	Enkodér KY-040	Touchpad Synaptics
5 V (Power)	VCC	+	T20
GND	GND	GND	T23
Clock (pin 6 a 3)	-	CLK	T10
Data (pin 5 a 4)	-	DT	T11
SCL (pin 21)	SCL	-	-
SDA (pin 20)	SDA	-	-
Int (pin 2)	INT	-	-



Obrázek č. 36: Vývojový diagram výpisu dat v programu Arduino IDE pro komunikaci s programem Processing.



```
COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.21,-0.83,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.07,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.22,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.23,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.23,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.23,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.23,-0.82,8,0,0,0
-0.52,-0.06,-0.23,-0.82,8,0,0,0
```

Obrázek č. 37: Výpis dat kódu pro komunikaci s programem Processing v programu Arduino IDE.

Na obrázku jsou zleva vypsány tyto hodnoty:

Kvaternion $q(w)$, neboli skalár.

Kvaternion $q(x)$, který je vektor k ose X.

Kvaternion $q(y)$, který je vektor k ose Y.

Kvaternion $q(z)$, který je vektor k ose Z.

Hodnota touchpadu byte, který vrácí hodnotu pozice prstu na touchpadu.

Hodnota touchpadu pohybu na ose X.

Hodnota touchpadu pohybu na ose Y.

Poslední hodnota je pozice rotačního enkodéru.

4.7. Vizualizace dat v programu Processing

Pro vizualizaci (simulaci) dat byl vybrán program Processing. Program Processing je open source programovací jazyk stavějící na programovacím jazyku Java, ale používá zjednodušené syntaxe a grafický interface pro vizuální zobrazování dat.

Nejdříve bylo nutné propojit program Arduino IDE s programem Processing pomocí seriál portu. K propojení těchto dvou programů a vytvoření vzájemné komunikace bylo zapotřebí použít kód z přechozí kapitoly, který vypisoval hodnoty jako string v jednom řádku. Po provedení jednoho výpisu dat (cyklu) se vypsal nový řádek (nový string). Místo dat rotace je v kódu vypočítaná hodnota kvaternionů. Kvaterniony jsou hodnoty tvořené skalárem a vektory v trojrozměrném prostoru [18]. Kód je uveden v příloze č. VII: Arduino simulace.

Implementaci a simulaci dat v programu Processing graficky znázorňuje vývojový diagram (viz Obrázek č. 38). V kódu bylo nutné přepočítat hodnoty kvaternionů na úhly pomocí matematických operací pro převod kvaternionů na úhly os.

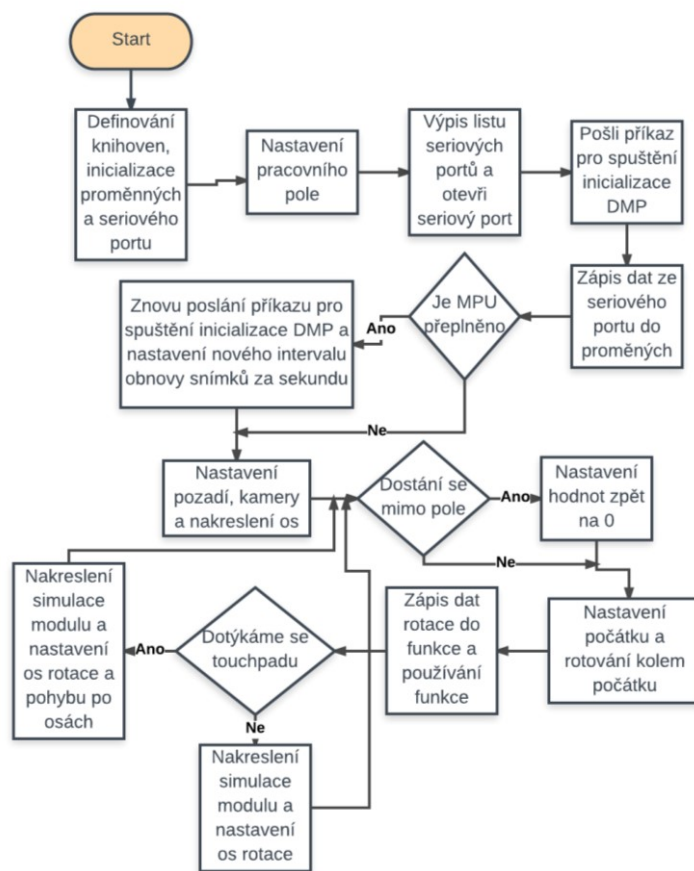
$$uhel = 2 * \text{acos}(qw)$$

$$x = qx / \text{sqrt}(1 - qw * qw)$$

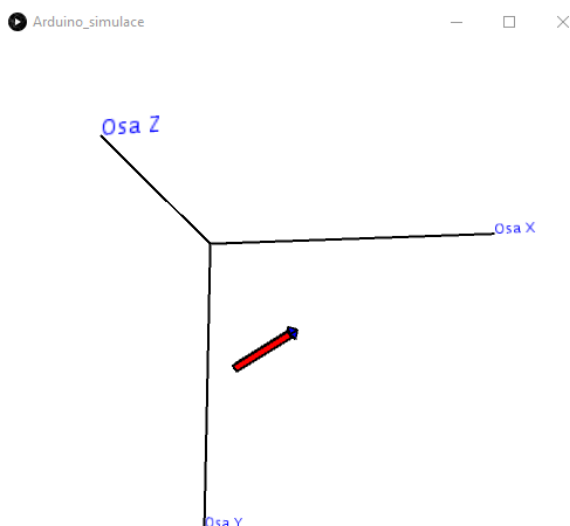
$$y = qy / \text{sqrt}(1 - qw * qw)$$

$$z = qz / \text{sqrt}(1 - qw * qw)$$

Kde qw je skalár a hodnoty qx , qy a qz jsou hodnoty vektorů v trojrozměrném prostoru.



Obrázek č. 38: Vývojový diagram implementace a simulace dat v programu Processing.



Obrázek č. 39: Simulace dat v programu Processing

Na obrázku (viz Obrázek č. 39) je vidět červený kvádr s modrým jehlanem jako hrotem, který znázorňuje ovládací modul. V tomto navrženém grafickém rozhraní je možné pohybovat tímto objektem po osách X, Y za pomoci touchpadu, různě ho otáčet a rotovat s ním v trojrozměrném prostoru díky gyroskopu a také s ním pohybovat po ose Z pomocí rotačního enkodéru. Tato data umožňují kompletní ovládání stylusu v trojrozměrném prostoru.

ZÁVĚR

Robotická chirurgie, respektive roboticky asistovaná chirurgie (RACH) či da Vinci chirurgie, je dnes odborníky všeobecně akceptována jako nový přístup v minimálně invazivní chirurgii. První roboticky asistovaný výkon byl proveden 31. 10. 2005 v pražské nemocnici Na Homolce. V současné době je v České republice využíváno 8 robotických systémů da Vinci v 7 nemocnicích (Nemocnice na Homolce, Ústřední vojenská nemocnice v Praze, Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně, nemocnice sv. Zdislavy v Mostištích, Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem, Nemocnice Nový Jičín, a. s., Fakultní nemocnice Olomouc). Technické řešení robota umožňuje lékařům provádět operace ze vzdáleného místa, bez kontaktu s tělem pacienta. Robotika tedy našla své nezastupitelné místo – prozatím – v chirurgických oborech. Tyto systémy nenalezneme třeba v radiodiagnostice, například pro dálkově ovládanou ultrazvukovou sondu. Motivací k řešení tohoto tématu v rámci bakalářské práce byla právě myšlenka uplatnění robotiky i na poli radiologie, respektive ultrasonografie. Pokud jsou dnes již rutinně popisovány vzdáleným přístupem snímky z radiodiagnostických vyšetření prostřednictvím datového úložiště PACS, proč by se nemohla realizovat vzdáleným přístupem i ultrasonografická vyšetření?

K vytvoření prototypového řešení modulu bylo zapotřebí stanovit si výsledný cíl, na jehož základě byl navržen modul a byly definovány vstupní podmínky, které daly vzniknout výsledné podobě hardwarové a softwarové části. Návrh byl rozdělen do dvou dílčích zařízení – ovládací modul a stylus. Po bližším průzkumu trhu a možností v oblasti vývojových desek, byla vybrána vývojová deska Arduino MEGA 2560, která obsahuje programovatelný mikrokontroler. Deska Arduino Mega 2560 je představitelem nejvyšší třídy osmibitových vývojových desek Arduino. Dalším modulem je šestiosý gyroskop MPU 6050 (modul gyroskopu s akcelerometrem pro mikrokontroléry). Tento gyroskop zajistil sbírání dat o rotaci stylusu. Pro sbírání dat o pohybu stylusu byl vybrán touchpad, od společnosti Synaptics. Posledním zařízením, které bylo použito v návrhu je rotační enkodér KY-040. Pro načítání dat v reálném čase byl vybrán program Arduino IDE, který umožňuje programování a sériovou komunikaci mezi jednotlivými zařízeními s mikrokontrolerem a následně s PC. Program Arduino IDE umožňuje posílání dat po sériové lince do PC v reálném čase

V programu Arduino IDE byla postupně testována veškerá zařízení pro ověření korektní funkčnosti. Další částí projektu bylo spojení dat ze všech zařízení do jednoho řetězce, tato data se poté přes sériový port odesílala v intervalech (tzv. loopech) do programu Processing. V tomto programu byla data přečtena ze sériového portu a následně rozdělena do vlastních proměnných. Tím byla zajištěna přehlednost kódu a usnadnění implementace v simulaci. Simulace v programu Processing byla vytvořena v tzv. loopu, tj. část programu, která pokud nenastane chyba, která není, nebo nemůže být zachycena, pokračuje a stále se opakuje. V této části programu se nastavoval počátek (střed os rotace) a také vykreslování částí znázorňujících stylus. Pro každou část programu zapsanou v loopu, bylo potřeba nastavovat počátek. Popřípadě s tímto počátkem regulovat, pokud jsme chtěli rotovat s objektem, neboť rotování se projevuje kolem počátku. Celý návrh byl úspěšně realizován a testován, stejně tak, jako softwarový algoritmus pro získávání dat. Následně byl odzkoušen algoritmus pro simulaci získaných dat.

Závěrem mohu kriticky konstatovat, že se aktuální prototypové zařízení pro použití v ostrém klinickém provozu příliš nehodí. Ovšem jeho fundamentální prvky v praxi určitě najdou své aplikační

využití, případně mohou položit základ sofistikovanému systému, který by byl pro využití v klinice již optimální.

Rád bych v tomto tématu pokračoval v rámci diplomové práce, rozšířil modul o vlastní mikrokontrolér a následně optimalizoval prototyp modulu, včetně návrhu vlastního robotického ramene a převedení do simulace.

LITERATURA

- [1] DUWAER, Arne L. *DATA PROCESSING SYSTEM WITH A TOUCH SCREENY AND A DIGITIZING TABLET, BOTH INTEGRATED IN AN INPUT DEVICE*. 2016. 5,231,381. Přihlášeno Jul. 27, 1993. Zapsáno 6. 4. 2016.
- [2] SHINOHE, Akihiro. *STYLUS PEN*. 1995. Japan. US005864098A. Uděleno 26. 01. 1999. Zapsáno 08. 11. 1995.
- [3] KIMURA, Shigeo, Yoshiyuki ISHIKURA, Takashi MASUDA, Takaaki KUROIWA a Takashi KIHARA. *CAPACITIVE PRESSURE SENSOR*. 1992. Japan. US005349492A. Uděleno 20. 09. 1994. Zapsáno 22. 12. 1992.
- [4] DOMINIC TENUTA, Matthew. *PRESSURE-SENSITIVE TRACKPAD*. 2013. United States. US20150084868A1. Uděleno 26. 03. 2015. Zapsáno 08. 10. 2013.
- [5] KEMPE, Volker. *MICRO-GYROSCOPE FOR DETECTING MOTIONS*. 2011. United States. US 9,157,740 B2. Uděleno 13. 10. 2015. Zapsáno 27. 10. 2011.
- [6] KENJO, Katsuhiko a Masami SHIRAI. *INCREMENTAL ROTARY ENCODER*. 2002. United States. US 6,555,809 B2. Uděleno 29. 04. 2003. Zapsáno 26. 03. 2002.
- [7] JÁGER, Arnold. Využití 3D CAD dat pro simulaci v systému Matlab Simulink/SimMechanics. *Studentská Vědecká Konference 2016*. 2016, 79-80.
- [8] Gyroskop a akcelerometr. SELECKÝ, Matúš. *Arduino*. Computer Press, Albatros Media, 2016, s. 223-225. ISBN 8025148491.
- [9] Co je gyroskop. *Gyroskopy* [online]. 2017 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://www.gyroskopy.cz/?co-je-gyroskop,24>
- [10] Arduino MPU 6050 - Best IMU sensor tutorial. *Diyhacking* [online]. [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <https://diyhacking.com/arduino-mpu-6050-imu-sensor-tutorial/>
- [11] Arduino MEGA 2560 & Genuino MEGA 2560. *Arduino* [online]. [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [12] Programujeme Arduino. *Arduino* [online]. 2015 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <https://arduino.cz/programujeme-arduino/>
- [13] ARMENISE, Mario N., C. CIMINELLI, F. DELL'OLIO a Vittorio M. N. PASSARO. *Advances in gyroscope technologies*. ISBN 9783642154942.

- [14] GEDDES, Mark. *Arduino project handbook: 25 practical projects to get you started*. ISBN 9781593276904.
- [15] PLATT, Charles. *Encyclopedia of electronic components*. ISBN 9781449333898.
- [16] ACTON, Q. Ashton. *Advances in Information Technology Research and Application: 2013 Edition: ScholarlyBrief*. ScholarlyEditions, 2013. ISBN 9781481695237.
- [17] PECINOVSKÝ, Josef. *1001 tipů a triků pro Microsoft Windows 10*. Computer Press, Albatros Media, 2017. ISBN 9788025147023.
- [18] KUIPERS, Jack B. *Quaternions and rotation sequences: a primer with applications to orbits, aerospace, and virtual reality*. 5th print., 1st paperback ed. Princeton: Princeton University Press, 2002. ISBN 9780691102986.

SEZNAM PŘÍLOH

- I. Datasheet touchpadu Synaptics T1006 – Příloha na CD/DVD
- II. Gyroskop surova data – Příloha na CD/DVD
- III. Gyroskop – Příloha na CD/DVD
- IV. Rotacni enkoder – Příloha na CD/DVD
- V. Touchpad – Příloha na CD/DVD
- VI. Processing komplet – Příloha na CD/DVD
- VII. Arduino simulace – Příloha na CD/DVD